

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПСИХОЛОГИИ

СОВРЕМЕННАЯ ПСИХОФИЗИКА

Под редакцией
В. А. Барабанщикова



Издательство
«Институт психологии РАН»
Москва – 2013

УДК 159.9
ББК 88
С 56

Редакционная коллегия:

доктор психологических наук, академик **Е. Н. Соколов**
доктор психологических наук *В. Н. Носуленко*
кандидат психологических наук *Е. В. Головина*

С 56 Современная психофизика / Под ред. В. А. Барабанщикова. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – 543 с. (Экспериментальные исследования) — опубл. 23.07.2013. — Электрон. версия печ. публ. — Доступ с сайта ЭБС IPRbooks.

ISBN 978-5-9270-0151-4

УДК 159.9
ББК 88

Коллективный труд «Современная психофизика» знакомит читателя с сегодняшним состоянием психофизики, тенденциями ее развития, новыми экспериментальными методами и результатами, путями практической реализации полученного знания. Книга предназначена для психологов, психофизиологов, педагогов, специалистов в области психологии управления, инженерной психологии, психологии труда, математической психологии и всех тех, кто интересуется экспериментальной психологией.

*Издание осуществлено при поддержке Российского гуманитарного
научного фонда (РГНФ) проект № 08-06-16009д*

© Институт психологии Российской академии наук, 2009

ISBN 978-5-9270-0151-4

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5

Раздел 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПСИХОФИЗИКИ

Глава 1. Воспринимаемое качество как основа психофизического измерения событий естественной среды	13
Глава 2. Предпосылки и теоретическое обоснование субъектного подхода в психофизике	41
Глава 3. Теория восприятия пространства: отражение глубины, расстояний и направлений по их функциям на плоскости рецепторов	82
Глава 4. Вклад произвольного и непроизвольного внимания в процесс локализации зрительного стимула	92
Глава 5. Геометрический подход к задаче сенсорного различения	110
Глава 6. Альбедео-гипотеза в свете современных теорий восприятия светлоты	145

Раздел 2

ЭКСПЕРИМЕНТ В ПСИХОФИЗИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ

Глава 7. Оптико-геометрические иллюзии, генерируемые компьютером: феномены, механизмы, детерминанты	161
Глава 8. Психофизика восприятия экспрессий лица в микроинтервалах времени	189
Глава 9. Психофизический подход к оценке эффективности навыка чтения	217
Глава 10. Роль семантики в восприятии длительности естественных и искусственных сигналов	240
Глава 11. Динамика формирования цветовых иллюзий	252
Глава 12. Восприятие экспрессивных схем лиц и характеристик темперамента	260

Раздел 3
ПСИХОФИЗИКА В СИСТЕМЕ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ

Глава 13. Что и как регулирует поведение живых существ	273
Глава 14. Системная интеграция психологических и физиологических знаний в области изучения индивидуальных различий силы ощущений	290
Глава 15. Локальный и глобальный анализ в зрительной системе	312
Глава 16. Роль сетчаточных и корковых механизмов зрения в формировании субъективных оценок различий и вызванного потенциала различения	338
Глава 17. Оценка расстояний в городских ландшафтах как психофизическая проблема	357
Глава 18. Категориальная структура восприятия живописи	381
Глава 19. Зоопсихофизика: пути развития	401

Раздел 4
ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПСИХОФИЗИКИ

Глава 20. Психофизические исследования эстетических свойств певческого голоса	433
Глава 21. Уверенность и адекватность ее оценки при решении сенсорной задачи: когнитивно-стилевой аспект	444
Глава 22. Психофизические характеристики восприятия качества жизни	461
Глава 23. Облегчение слухового распознавания интенсивности коротких, высокочастотных стимулов с ограниченной полосой частот в шуме	473
Глава 24. Личностные факторы контроля критериев оптимальности решения психофизических задач человеком-наблюдателем	489
Глава 25. Связь когнитивных стилей с эффективностью считывания приборной информации в операторской деятельности	512
Глава 26. Роль двигательной активности в восприятии времени: онтогенетический аспект	526

ВВЕДЕНИЕ

В недалеком прошлом психофизика воспринималась как яркий и увлекательный раздел психологии, теперь же – как скучный и малоинтересный. Объем психофизических исследований и, соответственно, публикаций постепенно снижается. Защищают кандидатских диссертаций по соответствующим темам все меньше и меньше. Студенты многочисленных факультетов психологии стараются не брать темы курсовых и дипломных работ, касающиеся психофизики. Все это указывает на кризис, переживаемый старейшей областью психологического знания.

Справедливости ради надо сказать, что в сложном положении пребывают сегодня все психологические дисциплины естественно-научного профиля, снизился интерес к экспериментальной психологии в целом, к психофизиологии, исследованиям познавательных процессов. В центре внимания российских психологов находятся проблемы личности и ее отношений с миром, а доминирующей является социокультурная парадигма исследований. Изменился и мировоззренческий план психологического познания, допускающий верховенство повседневного мнения над экспертным суждением профессионала. В складывающейся картине мира происходит отказ не только от монотеоретизма, но и от наукоцентризма.

Однако новые приоритеты в идеологии и содержании знания не могут перечеркнуть существенную роль, которую играла и продолжает играть (пусть в меньшей степени) психофизика. Она была и остается наукой об *измерении ощущений и восприятий*. Психофизика разрабатывает принципы и процедуры, позволяющие получать объективные, достоверные и надежные данные о сравнительно простых психических явлениях. Обращение к подобным методам полтора века назад позволило психологии выделиться в самостоятельную дисциплину, а позднее войти в число фундаментальных наук.

Главная проблема психофизического познания состоит в спецификации отношений между элементами среды, воздействующими на органы чувств, и элементами внутреннего мира. Ее решение ведется в трех направлениях. Во-первых, путем разработки методов оценки сенсорной чувствительности и выявления природы (дискретности/непрерывности) сенсорного ряда. Во-вторых, путем разработки методов сенсорного шкалирования и установления трансформаций (сжатия/растяжения, смещения, исключения и т. п.) стимульного ряда, отраженного в ощущениях и восприятиях. В-третьих, путем конкретизации формы основного психофизического закона, связывающего величину ощущений с величиной воздействия на органы чувств. Достижения российской психологии в данной области весьма существенны (Ананьев, 1961; Бардин, 1976; Гусев, 2004; Забродин, Лебедев, 1977; Измайлов, 1980; Кравков, 1948; Леонов, 1977; Логвиненко, 1985; Носуленко, 2007 и др.)

Психофизика аккумулирует знания о сенсорно-перцептивных процессах, раскрывая с количественной стороны их природу, свойства и механизмы. На основе этих знаний выстраиваются представления о восприятии, памяти, мышлении, своеобразии внутреннего мира человека в целом. Вне психофизических исследований решение ключевых проблем психологической науки, таких как психическое отражение, деятельность или общение, остается принципиально неполным.

Современная психофизика не ограничивается академическими исследованиями. Решая задачи, которые ставит жизнь, общество, она превращается в область профессиональной *практической деятельности*. Здесь формулируются ее нормы и идеалы, складывается понятийный аппарат, новые представления. Психофизические методы, первоначально выступавшие в качестве средств верификации теоретических гипотез, становятся основой процедур диагностики и коррекции. К числу наиболее важных сфер приложения психофизического знания по-прежнему относится инженерно-психологическое проектирование, оптимизация функционирования систем «человек – машина (техника)» и «человек – среда», оценка потребительских свойств различной продукции и мн. др.

Психофизика изначально представляет собой *комплексную дисциплину*, объединяющую наряду с психологией и физикой (в широком значении термина) математику, сенсорную физиологию, химию, астрономию и другие науки. Это своеобразный узел разнородного знания, которое, как показывает история, в разное время оказывает разное влияние на развитие психологии и смежных с ней дисциплин. Через психофизику в психологию проникают новые методы, проце-

дуры измерения и оценки, новые представления об организации конкретных форм объективной действительности.

Наконец, нельзя недооценивать мировоззренческого значения психофизики как культурного феномена. Благодаря тесной связи с естествознанием она создает и поддерживает *атмосферу научности*. В физическом способе познания, который реализует психофизика, находят отражение черты современного стиля мышления, остающегося постоянным, несмотря на прогрессивно возрастающие объемы социокультурного познания и гуманитаризацию жизни общества в целом.

Безусловно, психофизика не может и не должна оставаться неизменной. Она развивается, наполняется новым конкретным содержанием, сохраняя при этом главное – назначение в структуре психологического знания. Очевидно, что с изменением этой структуры характер психофизических исследований становится иным. В этой связи нельзя не учитывать ряд наиболее выраженных тенденций современной российской психологии.

Во-первых, стремление к *целостному* познанию изучаемых явлений. Исследователей все больше интересует взаимодействие различных по природе процессов, множественность форм их протекания, структура и уровни организации. Ставится вопрос о логике взаимопереходов и взаимовключений психических реальностей и о принципах объединения разнородного психологического знания. Так, одно и то же явление, в частности, восприятие в рамках деятельностного подхода, описывается как построение предметного образа действительности, в рамках когнитивного подхода – как прием и переработка информации, в рамках экологического подхода – как функция проксимальной стимуляции. При этом каждый подход претендует на полноту описания своего предмета. Но какова же психологическая сущность восприятия в целом? Как получить более или менее объемную картину перцептивного процесса? Решение этих и подобных проблем предполагает более глубокое использование идеи *системности* в психологии, в частности, представлений о полисистемности бытия человека и системной детерминации его психики и поведения (Ломов, 1984; Барабанщиков, 2005).

Другая тенденция заключается в усилении *субъектного* подхода (Рубинштейн, 2003), согласно которому любые психические явления и формы активности рассматриваются в конкретной отнесенности к тому, кому они принадлежат. Человек как субъект способен распоряжаться собственными ресурсами и благодаря этому строить отношения с миром. Активность, самодетерминация, саморегуляция, саморазвитие и самосовершенствование – ключевые характеристики субъекта жизни, которые сегодня подвергаются интенсивному ис-

следованию. Через понятие субъекта психофизика получает выход на проблемы психологии личности и общения.

Субъект играет роль внутренней предпосылки сенсорно-перцептивного процесса; сам же этот процесс открывается как реализация потенциала и ресурсов субъекта восприятия. Структура личности наблюдателя с самого начала участвует в детерминации сенсорно-перцептивного процесса и так или иначе испытывает на себе его эффект.

Становится очевидным, что границы психических явлений, которые традиционно обозначаются как «ощущения» и «восприятия», очень размыты. Анализ ощущений и восприятий обнаруживает присутствие потребностей, эмоций, памяти, мышления, установок. Каждое из явлений вбирает в себя другие модальности психики, распространяя на них свое влияние. Имеется в виду не хаос и беспорядочность включений, а их организованность в рамках локального целого. Это система внутренних условий восприятия, обеспечивающих возможность существования данности человеку объективной действительности, воздействующей на его органы чувств (Барабанщиков, 2006).

С развитием экологического и социокультурного подходов новое содержание получает понятие *объекта* восприятия. Он характеризуется не просто как объективная действительность или ее элементы (материальные процессы, вещи и их свойства), а как объективная действительность, взятая в определенном отношении к воспринимающему и включающая его в качестве одного из своих компонентов. Речь идет о форме единства индивида и среды, которая описывается в терминах «ситуации» (D. Magnusson), «жизненного пространства» (К. Левин) или «мира» (С.Л. Рубинштейн). Объект-ситуация характеризует способ объединения разнонаправленных сил и потенций в некоторое целое, в котором цементирующая роль и инициатива принадлежит субъекту. Это *его* ситуация, а не ситуация (мир) вообще. Осуществляя сенсорно-перцептивный процесс, субъект конституирует свое бытие, одновременно подчиняясь ему. Объект-ситуация становится главной альтернативой объекту-вещи, восприятие и оценку которого принято изучать. В отличие от объекта-вещи он не дается заранее и до завершения сенсорно-перцептивного акта остается недоопределенным. Очевидно, что использование этого понятия требует преобразований в методологии психофизического исследования (Барабанщиков, 2006; Носуленко, 2007). Перспектива анализа объекта-ситуации заключается в возможности сблизить организацию процедур лабораторного эксперимента с реальными способами жизни и деятельности человека не только в физическом, но и в экологическом, социальном и культурном отношениях.

Поскольку субъект и объект органически взаимосвязаны, они выступают как компоненты (полярности) одного и того же фрагмента бытия, или *события* жизни. Это означает, что сенсорно-перцептивное явление рассматривается не просто как данность в ее отношении к действительности (что характерно для гносеологического подхода), а как данность действительности в единстве внешних и внутренних условий ее существования, т. е. онтологически. В зависимости от позиции, принимаемой исследователем, развертывание события может быть описано в терминах решения перцептивной задачи, ориентированно-исследовательского действия, поведенческого акта, коммуникации либо научения (формирования и закрепления навыка).

Понятие сенсорно-перцептивного события позволяет преодолеть главный недостаток большинства существующих подходов – отрыв субъекта восприятия от объекта и их внешнее противопоставление. Объект и его образ оказываются полярностями одного и того же целого, а сенсорно-перцептивный процесс открывается не только как *отражение* бытия, но и как его *порождение*.

С онтологической точки зрения чувственные образы – собственно ощущения и восприятия – далеки от копии или «ментальной картинки» действительности, переживаемой человеком при раздражении органов чувств. Они представляют собой чувственный конструкт объекта-ситуации, построенный с учетом свойств и возможностей конкретного индивида. Образ неоднороден, полиморфен, внутренне противоречив, иерархически и гетерархически организован, но – главное – он всегда включен в структуру события. Появляются дополнительные системы отсчета, в которых продукт восприятия обнаруживает новые качества (Барабанщиков, 2002; Барабанщиков, Носуленко, 2004).

Наконец, нельзя не отметить преданность российской психологии принципу *развития*, на основе которого строилась работа большинства советских психологов. Интерес к порождению психических образований или видов активности, их формированию, особенностям стадий и уровней психического развития человека по-прежнему остается высоким. Поле генетических исследований быстро расширяется, включая все новые и новые области: ранний и поздний онтогенез, сферу высших профессиональных и творческих достижений (акме), психический облик людей в разные исторические периоды и даже палеогенез психических функций. При этом психическое развитие интерпретируется как полиморфный процесс, ведущий не только к рождению нового, но и к трансформации или же к разрушению неэффективных форм внутреннего мира. Применительно к психофизике это означает внимание к генезису сенсорно-перцептивных событий на различных уровнях их организации.

Смысл современного этапа развития российской психофизики заключается в ее адаптации к новым условиям жизни государства и науки в целом, в поиске наиболее эффективного места в системе психологического знания и практики. В какой-то мере обнадеживает тот факт, что в психофизике продолжает работать поколение ученых, которое наблюдало ее расцвет в 1970–1980-е годы, сохранило преданность естественно-научному способу мышления и чувство перспективы. За последние пять лет по проблемам психофизики были защищены три докторские диссертации. В лаборатории системных исследований психики Института психологии РАН успешно работает группа психофизиков. В ноябре 2006 г. в Институте психологии РАН состоялась всероссийская конференция «Психофизика сегодня», поставившая задачу объединения усилий исследователей Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Ростова-на-Дону, Екатеринбургa и других городов России (Носуленко, Скотникова, 2007).

Коллективный труд, представленный вниманию читателей, является своеобразным послесловием прошедшей конференции. Он знакомит с современным состоянием психофизики, тенденциями ее развития, новыми экспериментальными методами и результатами, путями практической реализации психофизического знания. Книга состоит из четырех разделов. В разделе I «Теоретические проблемы психофизики» рассматриваются основные подходы и понятия современной психофизики. Раздел II «Эксперимент в психофизическом исследовании» посвящен обсуждению конкретных методов и результатов эмпирических исследований. Раздел III «Психофизика в системе междисциплинарного знания» включает психофизические исследования комплексного характера. Завершающий раздел IV «Прикладные аспекты психофизики» раскрывает практическую полезность данной области знания.

Представленная книга является наиболее крупным коллективным изданием по психофизике в России. В ее подготовке приняли участие ведущие специалисты в данной области знания и смежных дисциплинах: В. А. Барабанщиков (введение, главы 7, 8), В. И. Белопольский (глава 9), И. В. Блинникова (глава 17), А. В. Гарусев (глава 11), Е. В. Головина (глава 21), Г. М. Головина (глава 22), В. В. Голубинов (глава 24), Т. Н. Греченко (глава 13), А. Н. Гусев (глава 4), В. Е. Дубровский (глава 5), А. В. Жегалло (глава 8), Э. Жейсснер (глава 1), Ч. А. Измайлов (глава 16), Е. А. Коротченко (глава 18), Е. В. Лебедева (глава 26), Е. Г. Луныкова (глава 6), Г. Я. Меньшикова (глава 6), В. П. Морозов (глава 20), В. Н. Носуленко (глава 1), Э. Паризе (глава 1), В. Ф. Петренко (глава 18), С. В. Пронин (глава 15), Д. Л. Петрович (глава 25), Т. А. Ратанова (глава 14), Л. К. Римская-Корсакова (глава 14).

ва 23), Т. Н. Савченко (глава 22), В. А. Садов (глава 10), Л. А. Селиванова (глава 19), И. Г. Скотникова (глава 2), О. Е. Сурнина (глава 26), И. С. Уточкин (глава 4), Н. Фореман (глава 15), А. Н. Харитонов (глава 19), Е. Г. Хозе (глава 8), Л. А. Хрисанфова (глава 12), В. Н. Чихман (глава 15), Н. И. Чуприкова (главы 3, 14), Н. Г. Шпагонова (глава 10), Ю. Е. Шелепин (глава 15).

Инновационный путь развития, принятый Россией, позволяет надеяться на рост востребованности психофизики и появление в ней качественно новых достижений.

ЛИТЕРАТУРА

- Ананьев Б. Г. Теория ощущений. М.: АПН РСФСР, 1961.
- Барабанщиков В. А. Восприятие и событие. СПб.: Алтейя, 2002
- Барабанщиков В. А. Психология восприятия. Организация и развитие перцептивного процесса. М.: Когито-Центр, 2006.
- Барабанщиков В. А. (Отв. ред.) Идея системности в современной психологии. М.: ИП РАН, 2005.
- Барабанщиков В. А., Носуленко В. Н. Системность. Восприятие. Общение. М.: ИП РАН, 2004.
- Бардин К. В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М.: Наука, 1976.
- Гусев А. Н. Психофизика сенсорных задач. Экспериментальное исследование поведения человека в ситуации неопределенности. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004.
- Забродин Ю. М., Лебедев А. Н. Психофизиология и психофизика. М.: Наука, 1977.
- Измайлов Ч. А. Сферическая модель цветоразличения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980.
- Кравков С. В. Взаимодействие органов чувств. М.: АН СССР, 1948.
- Левин К. Динамическая психология. М.: Смысл, 2001.
- Леонов Ю. П. Статистическая теория решений и психофизика. М.: Наука, 1977.
- Логвиненко А. Д. Чувственные основы восприятия пространства. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985.
- Ломов Б. Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии. М.: Наука, 1984.
- Носуленко В. Н. Психофизика восприятия естественной среды. Проблемы воспринимаемого качества. М.: Изд-во ИП РАН, 2007.
- Носуленко В. Н., Скотникова И. Г. (Отв. ред.) Психофизика сегодня. М.: Изд-во ИП РАН, 2007.
- Рубинштейн С. Л. Бытие и сознание. Человек и мир. СПб.: Питер, 2003.

Глава 1 ВОСПРИНИМАЕМОЕ КАЧЕСТВО КАК ОСНОВА ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ СОБЫТИЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ СРЕДЫ

Понятие о воспринимаемом качестве было введено нами в связи с попыткой применить психофизическую методологию к изучению восприятия сложных событий естественной среды человека (Носуленко, 1985, 1986, 1988, 1991, 2001, 2006, Nosulenko, Samoylenko, 2001). Речь идет о восприятии в ситуациях, приближенных к повседневной жизни людей, в отличие от искусственных ситуаций лабораторного эксперимента. Для таких ситуаций трудно построить физическую модель происходящих событий на основании исходно заданных и внешне измеряемых параметров. Возникает необходимость пересмотра экспериментальной парадигмы исследования. В центре внимания оказываются не отдельные характеристики восприятия, а их функциональный интеграл – **воспринимаемое качество** событий, которое определяет систему субъективно значимых свойств события, образующих ядро перцептивного образа. В воспринимаемом качестве отражаются одновременно свойства события как внешне-наблюдаемого явления, так и включенность в это событие самого субъекта (активного наблюдателя, слушателя и т. п.). Таким образом восприятие исследуется не в его обезличенном, вырванном из жизненного контекста виде, а как событие жизни человека, характеризующее фрагменты или эпизоды его бытия (Барабанщиков, 2002). Представление о воспринимаемом качестве предполагает анализ изучаемых феноменов в направлении от «сложного к простому». Однако принятие такой парадигмы ставит множество вопросов, касающихся методологии и самого предмета психофизического исследования.

В первую очередь, это относится к выполнению требования одновременного анализа двух реальностей: объектов внешней среды и психического образа, возникающего в процессе восприятия

этих объектов. Психофизикой ставится задача построения наиболее точной «физической модели» воспринимаемой реальности. Но ее решение не сводится к простому обращению к физическим справочникам и измерительным приборам. Анализируя проблему, Ю. М. Забродин отмечает, что выбранную физическую модель событий исследователь «соотносит с характеристиками психического образа, найденными с помощью психологической теории и психологического эксперимента. Однако делая это, психофизик иногда принимает физическую модель за реальность, за действительные события, происходящие в природе, и жестоко ошибается. Ведь сама физическая картина мира и природных событий тесно связана с уровнем развития физической науки» (Забродин, 1985, с. 7). С целью сокращения числа параметров, используемых при интерпретации результатов, экспериментатор вынужден использовать упрощенные физические описания объекта. А упрощая физическую модель, можно потерять значимые для человеческого восприятия качества и тем самым нарушить требование точного описания используемых в эксперименте стимулов (Носуленко, 1985, 1988).

Этот замкнутый круг обусловлен исходной психофизической парадигмой противопоставления субъекта и якобы независимого от него объекта. Как отмечает В. А. Барабанщиков, «абстрактно-результативное полагание субъекта и объекта восприятия становится основанием того, что знания, представления, установки самого исследователя невольно приписываются объекту восприятия и сопоставляются с чувственным содержанием изучаемого субъекта» (Барабанщиков, 2002, с. 70).

Именно на таком противопоставлении субъекта и объекта строится и экспериментальная парадигма традиционной психофизики. Она основана на допущении, что исследователь способен выделять, регистрировать и контролировать в эксперименте некоторые «физические» (акустические, световые и т. п.) параметры объекта. В рамках подобного допущения исследователь формирует стимулы, априорно предполагая, что каждому стимулу соответствует определенная совокупность реакций испытуемого и что можно создать процедуры, позволяющие их «измерять».

Такая парадигма требует предварительного физического описания изучаемого объекта (построения «физической модели») и наличия исходной гипотезы о связи между параметрами этой модели и ответами испытуемого. Например, гипотезы о том, что повышение интенсивности звука будет приводить к увеличению ощущения «звук громкий». Однако даже в «стерильных» лабораторных условиях принятие такой гипотезы является теоретической абстракцией

(громкость даже чистого тона зависит от его высоты, длительности и т. п.; она зависит от контекста, в котором осуществляется восприятие и от предшествующего сенсорного опыта испытуемого; она зависит от той значимости, которую для субъекта составляет в данном звуке именно громкость, и от отношения субъекта к звукам вообще). Еще труднее сформировать такую гипотезу при изучении восприятия событий в естественной среде, в повседневной жизни людей. Такие события перманентно меняются, часто непредсказуемым образом. Их «физические модели» очень сложны, а предвидеть, какие составляющие модели будут значимы в изучаемой ситуации, практически невозможно. Этим, в частности, объясняется тот факт, что до сих пор не существует технологий, позволяющих «измерять» характеристики объектов естественной среды (например, искажения в звучании музыкального инструмента) с той же точностью, на которую способен воспринимающий субъект.

Перспектива решения проблемы противопоставления субъекта и объекта видится, по мнению В. А. Барабанщикова, в обращении к объекту-ситуации, что позволяет рассмотреть весь спектр информационного наполнения восприятия, идущего от особенностей как среды, так и индивида, в динамике. Эта перспектива заключается также в «возможности сблизить организацию процедур лабораторного исследования с реальными способами жизни и деятельности человека не только в физическом, но и в экологическом, социальном и культурном отношениях» (Барабанщиков, 2002, с. 71–72).

Наше представление о воспринимаемом качестве является в определенной степени психофизической интерпретацией этого положения (Носуленко, 2004, 2006). В актуальной картине воспринимаемого качества выявляется динамический «срез» объекта-ситуации, который показывает конкретную специфику взаимоотношений среды и индивида. Анализ воспринимаемого качества может проводиться как в направлении выявления актуальных характеристик происходящего события, так и по пути изучения истории становления системы воспринимаемого качества (прошлого опыта индивида) или ожидаемого индивидом будущего (характеристики целей субъекта, являющихся антиципацией «объекта-ситуации»).

Парадигма воспринимаемого качества коренным образом отличается от традиционной психофизической парадигмы. Отправной точкой для анализа становится «воспринимаемое качество» события как результат его восприятия субъектом, включенным в это событие. Содержание «воспринимаемого качества» является для исследователя основой, позволяющей определить пути «физического» анализа события и выделить параметры события, которые могут быть

связаны с составляющими «воспринимаемого качества». При этом сам психофизический анализ, предполагающий поиск связи между субъективными характеристиками и характеристиками физического мира, не отвергается, а ведется в противоположном, по сравнению с традиционным подходом, направлении. В этом заключается один из главных выводов проведенного анализа. По мере усложнения событий среды соотношение между их «физической» и «перцептивной моделью» меняется: на передний план выходит оценка составляющих «воспринимаемого качества» событий, которая затем соотносится с их наблюдаемыми и измеряемыми характеристиками. Рассмотрим этот вывод подробнее.

Экспериментальная парадигма традиционной психофизики предполагает создание конкретного набора стимулов, физические параметры которых могут контролироваться во время эксперимента. Экспериментатор формирует такие стимулы, стараясь в целях обеспечения «чистоты эксперимента», максимально абстрагироваться от возможных влияний неучтенных факторов среды. При этом он создает по возможности «простые» стимулы, описываемые минимальным числом параметров. В результате испытуемому предъявляются стимулы, не имеющие ничего общего с событиями, происходящими в естественной среде. Исследование проводится на основании допущения о том, что каждому стимулу соответствует определенная реакция (или совокупность реакций) испытуемого и что можно создать процедуры, позволяющие «измерять» эту «субъективную» сторону. Ответы испытуемого анализируются как функция стимула, описывающая связь между «объективным» и «субъективным». Иначе говоря, анализ ведется в направлении от физического (измерение «объективного») к психическому (измерение «субъективного»).

Следует отметить особо, что характеристики стимулов, их предварительное физическое описание, необходимое в рамках такой экспериментальной парадигмы, формируются самим экспериментатором. Точно так же экспериментатор определяет измеряемые параметры «субъективного», поскольку необходима исходная гипотеза о связи между параметрами физической модели и ответами испытуемого. Очевидно, что такой подход трудно применим для изучения восприятия событий естественной среды, в постоянно меняющихся ситуациях повседневной жизни людей. Невозможно построить однозначную «физическую модель» этих событий и тем более предвидеть, какие из составляющих модели будут значимыми в той или иной изучаемой ситуации.

Экспериментальная парадигма воспринимаемого качества естественной среды отличается от традиционной психофизической па-

радикалы тем, что отправной точкой для анализа становится не физическая модель объекта, а восприятие субъекта, результатом которого является «воспринимаемое качество» события. В воспринимаемом качестве содержатся указания на то, какие элементы объективной реальности являются для субъекта значимыми и необходимыми, чтобы составить целостное представление о внешнем мире и адекватно с ним взаимодействовать. Таким образом оказывается возможным выявить ограниченное число «объективных» составляющих внешней среды, которые следует подвергнуть «физическому» анализу в первую очередь для того, чтобы выработать ограниченный набор гипотез об их связи с составляющими «воспринимаемого качества». В отличие от исследователя, работающего в традиционной психофизической парадигме, мы ищем соотношение между «объективно» измеренными «субъективными» характеристиками и доступными для наблюдения характеристиками физического мира, т. е. «субъективное» и «объективное» не противопоставляются, а рассматриваются как различные проявления многообразных качеств человека, в том числе психических (Абульханова, 1973; Рубинштейн, 1973). В воспринимаемом качестве некоторого события, имеющего свои внешне наблюдаемые, «объективно» измеряемые стороны, также «объективно» проявляются и его «субъективные» стороны, поскольку субъект в него включен (Барабанщиков, 2002). Эти субъективные составляющие (составляющие воспринимаемого качества) могут быть обнаружены, измерены и проинтерпретированы с помощью научных методов, обеспечивающих «объективность» исследования. Цель психофизического анализа заключается как раз в том, чтобы установить соответствие между событиями повседневной жизни людей и их воспринимаемым качеством. Экологическая валидность метода, позволяющего осуществлять оценку воспринимаемого качества, достигается в рамках перцептивно-коммуникативного подхода, согласно которому характеристики воспринимаемого качества проявляются в вербальных описаниях людей, включенных в события естественной среды. А эмпирическим референтом воспринимаемого качества являются «вербальные портреты» воспринимаемых событий, позволяющие количественно соотносить разные события и их компоненты, их предметные и операциональные особенности (Носуленко, 2001; Nosulenko, Samoilenko, 2001).

Новая исследовательская парадигма была применена для организации многочисленных эмпирических исследований, как в ситуациях лабораторного психофизического эксперимента и моделирования различных видов деятельности и общения, так и в ситуациях наблюдения за такой деятельностью в естественных условиях (Ба-

рабанщиков, Носуленко, 2004; Носуленко, 2004; Носуленко, Париже, 2001, 2002; Nosulenko, Samoilenko, 1999; Nosulenko, Samoilenko, Welinski, 2003 и др.). Наиболее полно психофизическая парадигма «от сложного к простому» была реализована в исследовании восприятия городских шумов, в котором путем анализа воспринимаемого качества были выявлены фрагменты акустического события, отличающиеся конкретными «субъективными» составляющими. В этой главе излагается ряд результатов этой работы.

Исследование направлено на проверку возможностей практической реализации предложенной экспериментальной парадигмы оценки воспринимаемого качества. В качестве экспериментального материала было выбрано сложное, развивающееся во времени акустическое событие, изучение восприятия которого связывалось с решением конкретной практической задачи*. Речь идет о восприятии людьми городских шумов и прежде всего о их раздражающем воздействии. Примером таких шумов являются звуки, сопровождающие действия поставщиков продуктов в магазины, расположенные в жилых кварталах спальных районов. Доставка таких грузов обычно осуществляется рано утром (в 5–6 часов). Очевидно, что производимый при этом шум нарушает спокойствие жителей.

В своей практической части исследование должно было выявить, (1) какие составляющие этого события воспринимаются людьми и (2) какие из этих составляющих воспринимаются как раздражающие.

Проведение такого исследования требует решения не только научных и практических задач, но и ряда организационных вопросов, связанных с подготовкой экспериментального материала, обеспечением адекватной ситуации предъявления акустического события испытуемому, выбором необходимых для анализа микроэпизодов события и т. д. На рисунке 1 показаны основные стадии и задачи организации исследования.

Звуковая запись акустического события, подготовка и проведение экспериментов составляли предварительную стадию исследования. На этом же предварительном этапе осуществлялась индексация внешне наблюдаемых характеристик изучаемого события, а также предварительная индексация поучаемых в эксперименте вербальных описаний события. Все это необходимо для выявле-

* Эксперименты и анализ данных проведены под нашим руководством в лаборатории вибраций и акустики Института прикладных исследований г. Лион, Франция (LVA, INSA de Lyon). Запись акустического события осуществлена Е. Жейсснер под руководством Е. Париже (Geissner, Parizet, Nosulenko, 2006a, 2006b).

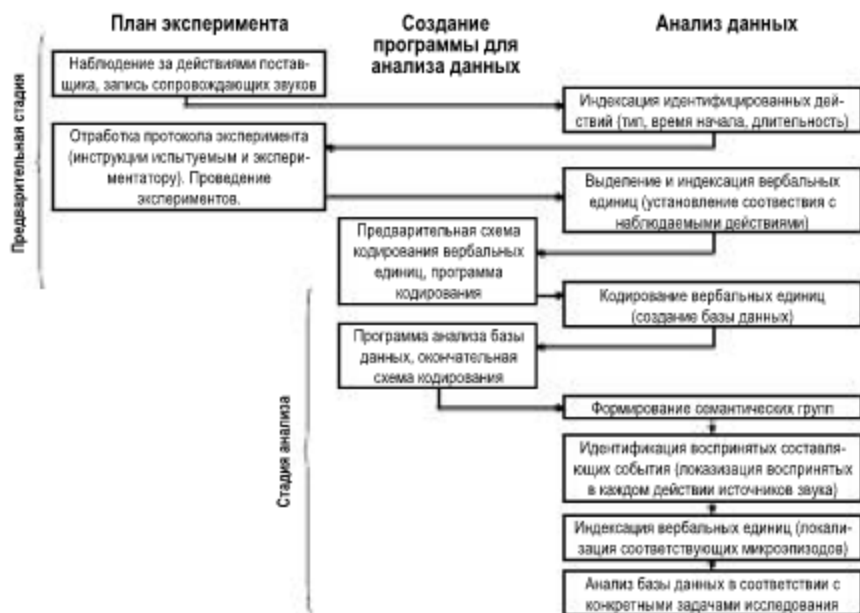


Рис. 1. Различные стадии и задачи организации исследования

ния в акустическом событии тех микроэпизодов, которые можно рассматривать в качестве отдельно предъявляемых в эксперименте объектов восприятия. С этого начинается основная стадия «проведения» эксперимента и анализа данных. На предварительном этапе из целостного содержания воспринимаемого качества события выделяются те его составляющие, которые могут быть подвергнуты независимому анализу и тем самым могут рассматриваться как последовательные «предъявления» испытуемому в процессе психофизического эксперимента. Затем «моделируется» такой эксперимент и проводится соответствующий анализ данных.

Рассмотрим некоторые детали подготовки и проведения исследования, а также основные результаты анализа данных.

Изучаемым акустическим событием были шумы, сопровождающие действия поставщиков товаров. В данном случае это были действия водителя грузовика, на котором привозились товары. Для организации исследования была осуществлена цифровая стереофоническая запись звука при помощи акустического манекена (искусственная голова) установленного на расстоянии 7,5 м от происходящего события. Такая запись при бинауральном прослушивании позволяет создать пространственные представления достаточно близкие к естественным (Блауэрт, 1979). Аналогичный вид записи

использовался нами и при изучении воспринимаемого качества шумов внутри автомобиля.

Общая длительность записи акустического события составила 5 минут 19 секунд и включала следующие пять наблюдаемых ситуаций.

Ситуация 1: прибытие поставщика (подъезд и остановка автомобиля, выход водителя из кабины).

Ситуация 2: подготовка к разгрузке товара (манипуляции с боковой дверью и гидравлическим погрузчиком).

Ситуация 3: разгрузка (наполнение грузовой тележки, провоз груза по кузову, провоз груза по мостовой, возврат тележки в кузов).

Ситуация 4: подготовка автомобиля к отъезду (манипуляции с боковой дверью и гидравлическим погрузчиком).

Ситуация 5: отъезд поставщика (переход водителя в кабину, ускорение и отъезд автомобиля).

Действия поставщика в каждой ситуации сопровождалось разнообразными звуками (хлопанье дверей, скрип подвески, шаги по мостовой и по кузову автомобиля, звук катящейся тележки, шум поднимающегося или опускающегося гидравлического погрузчика и т. п.). Эти «микроэпизоды» различаются в широком диапазоне как собственно по источнику звука, так и по его интенсивности, длительности, динамике и т. д.

Экспериментальное моделирование естественной ситуации

Записанные шумы предъявлялись испытуемым в психоакустическом эксперименте. Испытуемые вводились в ситуацию при помощи инструкции: *«Это грузовик, остановившийся под вашим окном в пять часов утра для того, чтобы доставить продукты в магазин, находящийся в вашем доме»*. Кроме того, им предъявлялись фотографии, на которых были изображены основные источники возможных шумов (открытая боковая дверь, опускающийся гидравлический погрузчик и т. п.).

В экспериментах участвовали 41 человек (21 женщина и 20 мужчин, средний возраст – 38 лет). Из них 71% – городские жители, остальные живут в ближайшем пригороде. С каждым из испытуемых было проведено 3 экспериментальные серии.

В *первой серии* испытуемых просили идентифицировать и вербально описать звуковые источники, составляющие акустическое событие. Вербализации записывались на цифровой магнитофон, позволяющий при анализе синхронизировать предъявляемый звук и конкретные моменты речевых описаний. Задачей анализа было выявить, насколько адекватно испытуемые воспринимают

записанную ситуацию в результате прослушивания ее звуковой части.

Во второй серии испытуемые должны были при помощи реостата на пульте указать степень раздражающего воздействия в каждый момент события: чем неприятнее звук, тем больше отклонение положения реостата от нулевого значения. Данные отклонения регистрировались компьютером и обрабатывались в реальном времени. По этим данным предполагалось выяснить, возможно ли прошкалировать степень раздражающего воздействия шумов непосредственно при непрерывном прослушивании. Эту оценку мы предполагали получить в результате сопоставления данных шкалирования с данными вербальных описаний, полученных в 3-й серии экспериментов.

В третьей серии испытуемые сравнивали и описывали звуковые источники, обращая внимание на характер их раздражающего воздействия. При этом они имели возможность останавливать звуковую программу для детального описания, многократно прослушивать отдельные ее участки, возвращаться к уже прослушанным участкам для уточнения своих суждений и т. п. Испытуемые были абсолютно свободны в выборе стратегии прослушивания и описания акустического события. Вербализации записывались на цифровой магнитофон синхронно с прослушиваемым в каждый момент времени участком звуковой программы. Регистрировались все манипуляции испытуемого: остановка программы, возврат к уже прослушанному участку, число остановок и возвратов и т. д.

Главная задача этого анализа – определить значимые для восприятия составляющие изучаемого акустического события: какие источники идентифицируются испытуемым при прослушивании записи события, какие операции водителя ассоциируются с этими источниками. Другая задача анализа касается оценки раздражающего воздействия воспринимаемых индивидом источников звука и операций с ними. Наконец, третья задача связана с нахождением в звукозаписи изучаемого события тех участков, которые соответствуют моментам идентификации испытуемыми воспринимаемых источников звука и соответствующих операций.

Вербальный анализ осуществлялся в соответствии с процедурами, аналогичными описанным в наших работах (Носуленко, 2007; Nosulenko, Samoilenko, 1997, 2001). Различие заключалось только в том, что индексация данных осуществлялась не по отношению к исходно выделенным и независимо предъявляемым в эксперименте объектам (например, шумам отдельных автомобилей), а по отношению к событиям, которые были определены в качестве отдельных эпизодов самими испытуемыми.

В рамках данного исследования формирование базы данных вербальных единиц включало 3 основных этапа:

- индексация вербальных единиц,
- кодирование вербальных единиц в соответствии с их значениями,
- локализация микроэпизодов акустического события, соответствующих каждому идентифицированному испытуемому источнику звука.

Введенные таким образом в базу данных индексы и коды позволяют осуществлять анализ всей совокупности собранных данных, т. е. выбирать информацию определенной категории и проверять возможную связь между разными группами данных.

При индексации для каждой вербальной единицы должно быть установлено соответствие между параметрами, характеризующими условия эксперимента, данными об испытуемом и исходной информацией о воспринимаемом в данный момент событии. На этом этапе может также осуществляться «взвешивание» вербальной единицы в зависимости от ее положения в высказывании, от числа повторений, от общего количества вербальных единиц продуцированных каждым испытуемым и т. д. (подробнее см.: Nosulenko, Samoilenko, 1997, 2001). Такое взвешивание позволяет учесть положение вербальной единицы в общем протоколе и во всем контексте референтов, используемых группой испытуемых. Например, вербальные единицы «*чуть-чуть неприятно*», «*неприятно*» и «*совершенно невыносимо*» относятся к одной категории («раздражающий»), но имеют разный «вес» в общей группе суждений, высказанных испытуемыми.

Этапы кодирования вербальных единиц организовывались в соответствии с упрощенной схемой, представленной на рисунке 2.

Вербальная единица может описывать звуковые источники, распознаваемые испытуемым в определенном пространстве как результат некоторой деятельности водителя (операции с источниками звука). Схема кодирования направлена на установление связи между этими двумя группами вербальных единиц (источники звука и производимые с ними операции). Мы представляем здесь в качестве примера только финальный результат формирования категорий кодирования: следствие объединения и предварительного статистического анализа данных 41 испытуемого. Принципы кодирования и отнесения вербальных единиц к той или иной категории описаны в наших упомянутых выше работах.

Вербальные единицы, характеризующие пространство, в котором происходит воспринимаемый эпизод события, кодировались



Рис. 2. Этапы кодирования вербальных единиц

в поле «**Пространство**» в соответствии с тремя общими категориями: «**внешнее**» (событие происходит снаружи грузовика), «**кабина**» (событие в кабине грузовика) и «**кузов**» (событие в кузове грузовика).

Вербальные единицы, характеризующие идентифицированные испытуемыми источники звука, кодировались в поле «**Источник**».

Вербальные единицы, связанные с описанием операций, локализованных в услышанном испытуемыми событии, кодировались в поле «**Операция**» согласно списку, фиксирующему соответствующие источники звука (за исключением источников «домкрат» и «подвеска», для которых в поле «операция» всегда вводился код «\»).

Каждая вербальная единица кодировалась затем в соответствии с оценочными суждениями, даваемыми испытуемыми в отношении источника звука и/или связанной с ним операции. Этот вид кодирования осуществлялся при заполнении поля «**Дескриптор**» в соответствии с оценочными категориями, представленными ниже. Кодирование оценок касалось только данных третьей серии (за исключением оценки «понятный»).

Затем каждый дескриптор кодировался в поле «**Направленность**» в зависимости от позитивной («он хлопнул очень **сильно**» – код «**да**» для дескриптора «громкий») или негативной («звук достаточно **тихий**» – код «**нет**» для дескриптора «громкий») направленности оценок.

Локализация микроэпизодов акустического события

Задача этого анализа заключалась в определении общих для всей группы испытуемых категорий суждений, связанных с идентификацией некоторого целостного микроэпизода акустического

события и локализацией соответствующего момента в записи этого события. Для предварительного анализа были объединены данные вербализаций, полученных в первой и третьей сериях эксперимента. Использовалась следующая процедура.

Для каждого микроэпизода, в котором испытуемые узнавали конкретный источник звука или целостную ситуацию, определялся процент одинаковых для всех идентификаций. Пример описания такой целостной ситуации: *«Водитель манипулирует со своей тележкой... по-видимому он ее уронил: я слышу очень сильный металлический удар; при этом он рассыпал все ее содержимое... это все происходит внутри закрытого кузова – звук сильно реверберирует, а удары усиливаются металлическим корпусом грузовика...»* Затем соседние микроэпизоды укрупнялись (путем объединения) до тех пор, пока процент одинаковых узнаваний не достигал уровня 75%. Полученные таким образом микроэпизоды считались отдельным элементом акустического события; последующий анализ проводился для каждого микроэпизода независимо. Другими словами, мы определяли, какие элементы акустического события выделялись большинством испытуемых в качестве составляющих, характеризующих разные этапы развивающегося во времени события.

Было проведено 4 цикла таких последовательных итераций, в результате которых выделено 28 микроэпизодов со средней длительностью 11,4 секунды. Самый короткий микроэпизод (№ 23) длится 1 секунду. Самый продолжительный (№ 8) звучит 27 секунд. В каждом из этих микроэпизодов более 75% испытуемых однозначно идентифицировали источники звука и соответствующие им операции поставщика. Например: *«Водитель закрыл дверь кабины», «Он опускает погрузчик», «Он везет тележку с грузом внутри кузова», «Он везет пустую тележку по мостовой».* В отношении пяти наблюдаемых ситуаций микроэпизоды распределились следующим образом: ситуация 1 – пять микроэпизодов (1–5), ситуация 2 – пять микроэпизодов (6–10), ситуация 3 – шесть микроэпизодов (11–16), ситуация 4 – пять микроэпизодов (17–21), ситуация 5 – семь микроэпизодов (22–28).

Анализ данных второй серии экспериментов (шкалирование степени раздражающего воздействия при помощи реостата) показал, что испытуемые достаточно точно реагируют на смену воспринимаемых эпизодов события. Этот анализ позволил уточнить начало и конец (с точностью до 1 секунды) каждого из 28 микроэпизодов, определенных по вербальным данным. Однако этот метод не позволил оценить степень раздражающего воздействия каждого эпизода и тем более не позволил определить содержание идентифицирован-

ного звука. Поэтому основные характеристики восприятия акустических событий выявлялись из вербализаций, полученных в первой и третьей серии экспериментов.

Таким образом, процедура предъявления акустического события в эксперименте может быть описана по аналогии со стандартной психофизической процедурой, где испытуемым последовательно предъявлялось 28 звуковых эпизодов, каждый из которых характеризовал определенный звуковой источник. Для каждого звука измерялись их акустические параметры (спектральный состав, интенсивность, длительность и т. д.). Задачей испытуемых было детально описать прослушанные звуковые отрывки, объяснив содержание услышанного и свое отношение к нему, в первую очередь, с точки зрения его «приятного» или «неприятного» воздействия.

Еще раз обратим внимание на то, что представленная выше экспериментальная ситуация является именно «аналогией» стандартной психофизической процедуре. В действительности испытуемым предъявлялось одно целостное акустическое событие. Инструкция относилась только к этому целостному событию. А 28 микроэпизодов были выделены самими испытуемыми при их оценке «воспринимаемого качества» события. Другими словами, испытуемые обнаружили 28 разных ситуаций, каждая из которых имеет собственную характеристику воспринимаемого качества.

Не останавливаясь подробно на деталях кодирования вербальных единиц, отметим, что в соответствии с практическими задачами исследования база данных позволяла осуществлять группировку вербальных единиц по отношению к каждому воспринятому микроэпизоду по трем главным направлениям.

Из вербальных описаний, сделанных испытуемыми в третьей серии эксперимента, было выделено 3054 вербальных единицы, каждая из которых индексировалась по отношению к соответствующему микроэпизоду (в базу данных было введено дополнительное поле «**Микроэпизод**», в которое вносились соответствующие цифры от 1 до 28) и кодировалась в соответствии с указанными выше принципами. Рисунок 3 дает представление о распределении числа вербальных единиц (среднее для группы испытуемых), отнесенных к каждому из 28 воспринятых микроэпизодов в процессе прослушивания акустического события. На этом же рисунке показано изменение интенсивности звука во времени развивающегося события. Положение каждого столбика гистограммы фиксирует начало соответствующего микроэпизода.

На следующих этапах анализа было уточнено содержание каждого микроэпизода, как оно было воспринято испытуемыми.

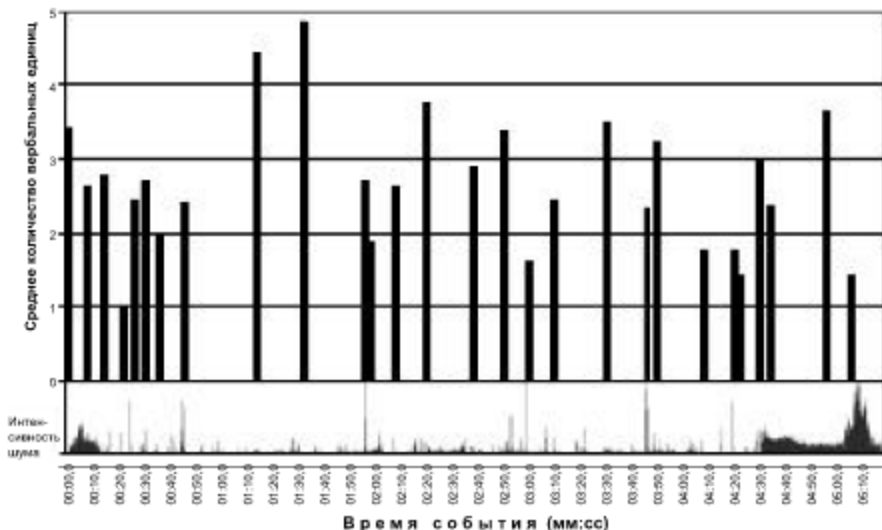


Рис. 3. Распределение вербальных единиц по микроэпизодам (усреднение по группе из 41 испытуемых)

Идентификация предметных составляющих акустического события

Для каждого из 28 микроэпизодов, локализованных в акустическом событии, было посчитано число вербальных единиц, отнесенных к соответствующему источнику звука. На рисунке 4 представлен пример результатов анализа для наблюдаемой ситуации №3.

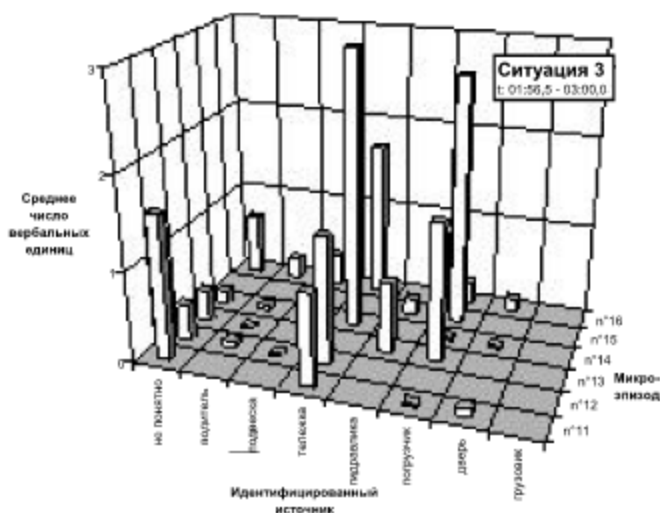


Рис. 4. Источники, воспринятые в микроэпизодах ситуации 3

В этой ситуации в качестве значимых составляющих обнаруживаются, прежде всего, «погрузчик» и «тележка». «Погрузчик» узнается в микроэпизодах 13 и 15 ($p < 0,001$), а источник «тележка» локализуется в микроэпизодах 11, 12, 14 и 16 ($p < 0,001$). В микроэпизоде 13 вместе с «погрузчиком» испытуемые слышат также и «домкрат» (n. s.). Число непонятных источников больше всего в микроэпизодах 11 и 16.

Идентификация операциональных составляющих акустического события

Другое направление детального анализа полученных данных касается выявления операций, идентифицированных испытуемыми в разных микроэпизодах.

Прежде всего мы представим глобальные результаты распределения операций, воспринимаемых одновременно с идентифицируемыми источниками звука во всей совокупности микроэпизодов. Затем будет показано несколько примеров, касающихся распределения операций внутри отдельных микроэпизодов. В двух случаях речь будет идти только о значимых источниках (см. предыдущий раздел).

На рисунке 5 показаны результаты анализа вербальных описаний, относящихся к данным по узнаванию операций, которые сопутствуют активности звукового источника «грузовик».

На рисунке 6 показаны микроэпизоды, в которых значимой характеристикой является источник «погрузчик». Как видно из рисунка, основная активность этого источника связана с операциями

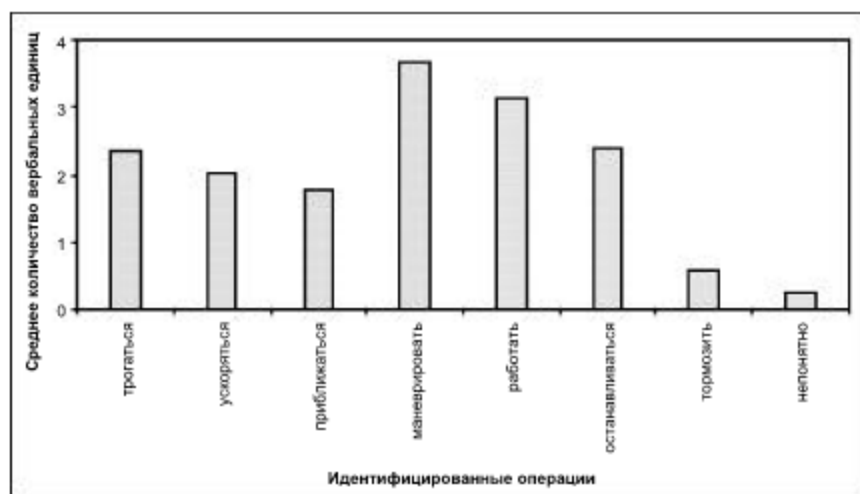


Рис. 5. Операции, идентифицированные при восприятии звукового источника «грузовик»

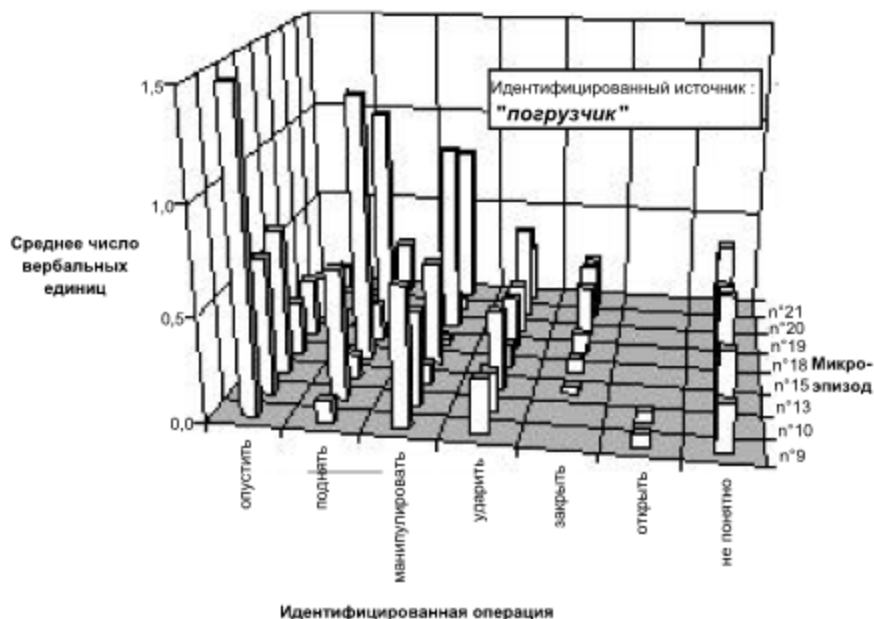


Рис. 6. Операции, связанные с источником «погрузчик»

«поднять» и «опустить» (платформу) или же с общими манипуляциями погрузчика. Все эти операции сопровождаются значительным числом шумов, представляющих собой «удары». Следует отметить, что именно с этим источником связывалось раздражающее действие шума в ситуациях 2, 3 и 4.

Подобный анализ был проведен относительно каждого типа идентифицированных испытуемыми источников и для каждого микроэпизода отдельно. В результате было констатировано, что наиболее важные составляющие происходящего были услышаны и распознаны, испытуемые достаточно адекватно воспринимали содержание предметных и операциональных составляющих события при прослушивании звуковой записи этого события.

Вместе с тем ряд деталей распознается испытуемыми неоднозначно. Уточнить такие моменты можно, оценив представленность в каждом микроэпизоде суждений испытуемых, отнесенных к категории «непонятно».

На рисунке 7 показаны участки акустического события, в которых анализ выявил неоднозначность идентификации источников или связанных с ними операций.

Больше всего неуверенных распознаваний было отмечено в микроэпизодах 6, 8, 10, 13, 16, 18, 19 и 21. Для этих восьми микроэпизодов

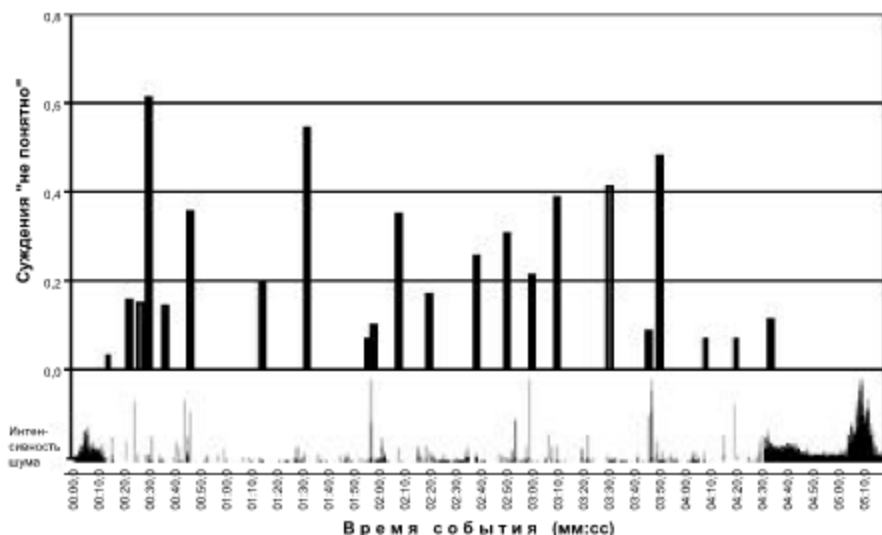


Рис. 7. Оценка уверенности распознавания источников акустического события

доля оценок, относящихся к категории «непонятно» составляла около 30%. Основная часть неясных распознаваний касается микроэпизодов, в которых зарегистрированы различные манипуляции с погрузчиком (10, 13, 18, 19 и 21). Так, например, не всегда понятно «опускается» или «поднимается» погрузчик. Не распознаются мелкие детали манипуляций с погрузчиком (блокировка, разблокировка, пульт управления и т.д.), а соответственно не понятны сопровождающие их шумы, особенно при закрывании двери погрузчика (микроэпизод 21). Другие непонятные операции касаются перемещений тележки, в первую очередь, при ее переходе с платформы на мостовую и обратно (микроэпизод 16). Также испытуемым трудно было понять манипуляции водителя с боковыми дверями кузова (микроэпизоды 6 и 8).

Таким образом, ряд деталей ускользал от внимания слушателя, однако это касалось только восьми микроэпизодов.

Вербальные портреты микроэпизодов акустического события

Каждый из 28 микроэпизодов, выделенных испытуемыми, был подвергнут отдельному анализу, что эквивалентно 28 предъявлениям элементов акустического события в одной экспериментальной серии. Для них строились вербальные портреты воспринимаемых шумов, характеризующие специфику конкретного микроэпизода.

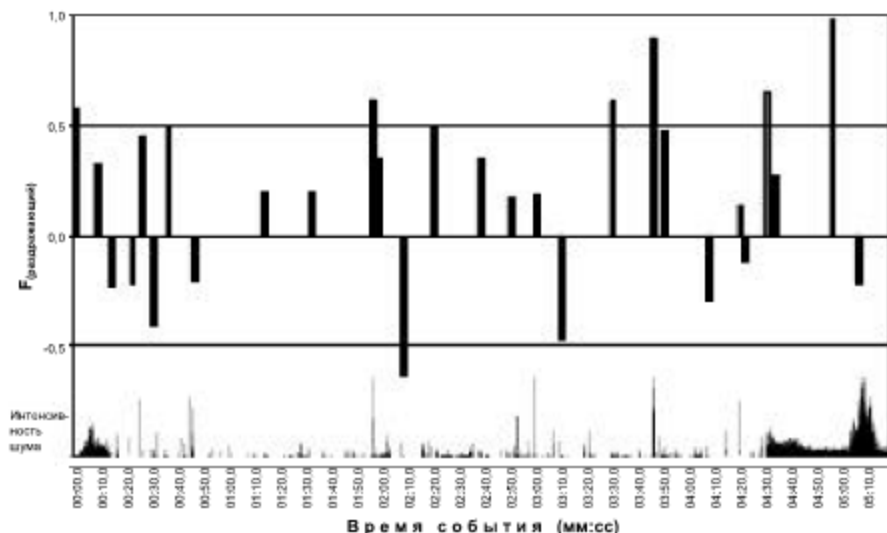


Рис. 8. Представленность суждений «раздражающий» в вербальных портретах акустического события

Мы приводим несколько примеров результатов такого анализа в виде значимых показателей представленности отдельных оценочных категорий в суждениях всей группы испытуемых. В соответствии с практической задачей исследования необходимо было определить, прежде всего, те составляющие акустического события, которые воспринимались в связи с их раздражающим воздействием.

Рисунок 8 позволяет оценить уровень раздражающего действия каждого микроэпизода по представленности в вербальном портрете события оценочной категории «раздражающий».

На рисунке можно видеть те микроэпизоды, которые наиболее раздражают испытуемых (например, 1, 5, 7, 11, 14, 15, 19, 20, 21, 23, 26, 28). В то же время имеются микроэпизоды, воздействие которых оценивается как относительно «не раздражающее» (3, 4, 6, 8, 13, 18, 22, 24, 28) в общем контексте сравниваемых микроэпизодов акустического события. Уже на этом этапе можно определить (по содержанию микроэпизодов), какие источники звука и связанные с ними операции наиболее или наименее неприятны. Так, например, источник «дверь» присутствует в микроэпизодах 3, 4, 5, 6, 7, 8, 22, 23 и 24. Однако часть из них раздражает слушателя (например, 5, 7, 23), а другие раздражающего воздействия не оказывают. Если рассмотреть операции с этим источником звука, то обнаруживается что раздражение вызывает только «закрывающаяся» дверь.

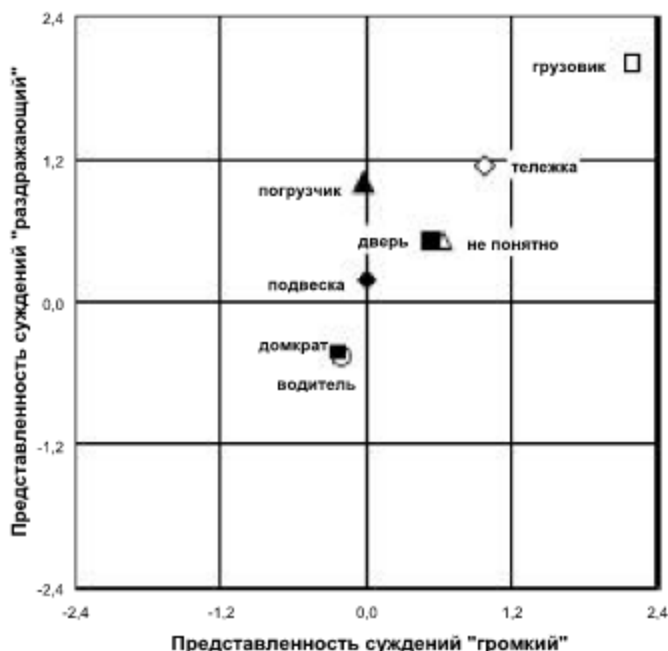


Рис. 9. Распределение источников звука в соответствии с представленностью двух составляющих вербального портрета: «раздражающий» и «громкий»

Рисунок 9 показывает распределение разных источников звука, идентифицированных в акустическом событии испытуемыми в зависимости от их раздражающего воздействия (категория «раздражающий») и воспринимаемой громкости. Следует отметить, что степень воспринимаемого раздражающего действия идентифицированных источников достаточно хорошо коррелирует с уровнем воспринимаемой громкости ($r = 0,71$).

Как показано на рисунке, наиболее раздражающим (и наиболее громким) оказывается источник «грузовик», затем следует источник «тележка». Однако наибольший интерес представляют оценки источника «погрузчик». Его восприятие характеризуется относительно высокой представленностью категории «раздражающий» (в среднем каждый испытуемый отметил этот факт). Вместе с тем в глобальных оценках этого источника практически не представлены оценки громкости.

Для уточнения этого результата рассмотрим представленность этих категорий оценок в описаниях операций, связанных с источником «погрузчик» (рисунок 10).

Как показывает рисунок, наибольшее раздражение вызывают общие манипуляции с подъемником и непонятные звуки. При этом

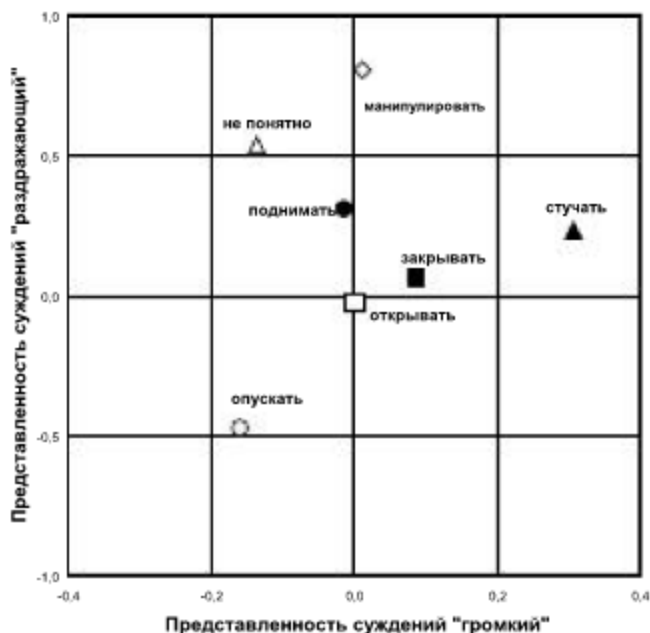


Рис. 10. Разные операции, связанные со звуковым источником «подъемник», в характеристиках представленности двух составляющих вербального портрета: «раздражающий» и «громкий»

сильно различается восприятие этого источника в операции «подниматься» (относительно «раздражающий» звук) и в операции «опускаться» (скорее «приятный» звук). Громкими и относительно раздражающими воспринимаются операции, сопровождающиеся стуком. Следует отметить, что действия поставщика с подъемником занимают наиболее значительную часть изучаемого события (почти 75%). Поэтому был предпринят более глубокий анализ описаний, характеризующих микроэпизоды с подъемником.

На рисунке 11 дан глобальный вербальный портрет источника звука «подъемник», в котором представлены все его значимые характеристики, усредненные по группе испытуемых и по всем операциям, производимым с подъемником (перцептивно-оценочное «ядро» звукового источника «подъемник»).

На этом рисунке, как и на рисунке 50, видно, что в воспринимаемом качестве звукового источника звука «погрузчик» на первом месте стоит характеристика «раздражающий». Шум погрузчика сопровождается скрипом, он продолжительный, свистящий и т.д. Все это создает впечатление общей негативной оценки предметных составляющих воспринимаемого качества.



Рис. 11. Вербальный портрет звукового источника «погрузчик»

Для выявления деталей такой негативной оценки необходимо дифференцировать предметные и операциональные характеристики деятельности с источником звука «погрузчик». Испытуемые идентифицировали разные операции с ним, наиболее значимые из них – операции «поднимать» и «опускать». Следующие рисунки позволяют выяснить, как воспринимается этот источник в ситуациях выполнения разных операций.

На рисунке 12 видно, что на первом месте в воспринимаемом качестве шумов, сопровождающих подъем груза, стоит негативная характеристика «раздражающий». Эта характеристика в целом положительно коррелирует ($r > 0,62$) с другими, представленными в вербальном портрете, характеристиками (за исключением



Рис. 12. Вербальный портрет источника «Погрузчик/поднимать»



Рис 13. Вербальный портрет источника «Погрузчик/опускать»

категории «регулярный»). Можно сказать, что общая оценка этой ситуации негативная.

Иначе воспринимается тот же источник звука,двигающийся в противоположном направлении (категория «опускать»). Вербальный портрет этой ситуации см. на рисунке 13.

Понятно, что последняя ситуация в целом воспринимается позитивно, несмотря на присутствие «скрипа», что оценивается негативно: представленность категории «скрипящий» положительно коррелирует с представленностью категории «раздражающий» ($r = 0,67$). Все остальные характеристики имеют отрицательную корреляцию с этой категорией оценок, поэтому практический вывод будет связан в первую очередь с необходимостью изменений шума, вызываемого погрузчиком при выполнении операции подъема груза.

Итак, в этой главе показан пример исследования, в котором были реализованы принципы психофизического анализа восприятия сложного события в парадигме «от сложного к простому». Разумеется, мы не можем здесь описать все детали и возможные направления анализа. Представленный пример имел целью продемонстрировать следующие специфические моменты предложенного подхода.

Для изучаемого акустического события невозможно построить физическую модель, необходимую для организации психофизического эксперимента по классической схеме. В таком акустическом событии нельзя также управлять какими-либо параметрами, поскольку любое изменение параметров будет приводить к изменению предметного содержания события, что не допускается условиями практической направленности и экологической валидности исследования. Это также являлось препятствием для обеспечения

классической схемы психофизического эксперимента. Поэтому была предложена схема анализа с позиции воспринимаемого качества акустического события (парадигма «от сложного к простому»).

Выявленные в эксперименте характеристики воспринимаемого качества позволили определить целостные фрагменты акустического события (28 микроэпизодов), которые можно анализировать независимо и вербальные портреты которых можно сравнивать как вербальные портреты отдельных акустических микрособытий, характеризующихся ограниченным количеством субъективно значимых параметров. Тем самым создана основа для организации нового экспериментального исследования, в котором предъявляемыми испытуемым событиями будут эти относительно «простые» составляющие исходного события, отличающиеся друг от друга степенью представленности определенного субъективного параметра. Физический анализ таких «простых» составляющих делает реалистичной задачу построения физической модели события, в которой будет установлен «объективный» параметр, поддающийся измерению (а значит, контролю или управлению в эксперименте) и определяющий соответствующий субъективный параметр. Например, микроэпизоды 4 и 5 отличаются степенью раздражающего воздействия и громкостью. Анализ их акустических параметров обнаруживает корреляцию с этим субъективными параметрами интенсивности и скорости нарастания звука. Таким образом можно строить эксперимент, в котором эти параметры будут независимой переменной, а зависимой переменной станут ощущения громкости и/или оценка раздражающего эффекта. Исследования, проведенные в данном направлении, показали правомерность и эффективность такого подхода (Geissner, Parizet, Nosulenko, 2006a, 2006b).

Дальнейшая перспектива применения и развития предложенной исследовательской парадигмы видится в детальной проверке ее продуктивности при изучении перцептивных явлений в разнообразных ситуациях реальной деятельности и общения людей. Важная область исследования связана с межкультурным аспектом проблемы воспринимаемого качества. Необходимо учитывать языковые особенности разных культур в случае применения результатов, полученных в одной культуре, для прогнозирования воспринимаемого качества в другой. Одно из направлений исследования касается сравнения воспринимаемого качества различных событий, которое формируется у людей, живущих в одной и той же социокультурной среде, но являющихся субъектами разных видов деятельности. Другое направление касается сопоставления характеристик воспринимаемого качества одних и тех же событий, формируемого у людей,

живущих в разных социокультурных средах. Ведь именно характер деятельности и социокультурный контекст определяют языковые особенности, способы вербального выражения субъективных представлений, мыслей, эмоций и т. п. в процессе общения.

Возникающие здесь вопросы связаны с необходимостью более глубокой проработки конкретных методов и процедур, обеспечивающих возможность измерения перцептивных феноменов в условиях естественной среды. Такая проработка требуется, прежде всего, в направлении адаптации метода к различным ситуациям деятельности и общения, а также определения границ их применимости. Использование вербального материала в качестве репрезентативных данных о характеристиках изучаемых феноменов с необходимостью требует интеграции и перекрестного использования разных методов. Хорошую перспективу имеет применение аппарата и методов многомерного анализа. Содержание воспринимаемого качества позволяет интерпретировать, например, оценочные шкалы, полученные методами многомерного шкалирования. Это было показано в коллективной работе с нашим участием (Parizet, Amari, Nosulenko, Lorenzon, 2005). Однако возможно и обратное направление исследования: выявление этими методами шкал и осей оценивания из результатов обработки вербальных данных. Предложенная процедура обработки позволяет осуществить их количественное сопоставление в рамках общего описания конкретных событий, а значит, к таким вербальным данным может быть применен аппарат многомерного анализа.

Положение о том, что результаты анализа вербальных данных являются отправным пунктом для измерения субъективно значимых характеристик событий естественной среды, предъявляет высокие требования не только к методам обработки текстового материала, но и ко всей совокупности процедур получения информации об изучаемых феноменах. Условием контроля валидности получаемых в исследовании вербализаций является обеспечение сбора и анализа внешне наблюдаемых данных о воспринимаемых событиях и характеристиках деятельности испытуемых. Что, в свою очередь, предъявляет особые требования к методам сбора, регистрации и анализа таких данных и интегрирования этих методов с методами вербального анализа в единую систему обеспечения эмпирического исследования. Определенные решения этих вопросов видятся в применении парадигмы «экспериментальной реальности» и стратегии «обратной реконструкции», которая позволяет обращаться не ко всем данным, а только к той их части, которая необходима для решения конкретной исследовательской задачи (Лалу, Носуленко, 2005; Nosulenko, Samoilenko, Welinski, 2003).

Получение ответа на вопрос о том, **что** воспринимается человеком при его активном взаимодействии со средой и **как** изучать воспринимаемое качество, определяет важную практическую перспективу. Очевидно, что этот подход может быть использован для оценки потребительского качества разнообразных товаров. При этом могут, например, быть выявлены критерии предпочтения отдельных товаров или услуг на конкурентном рынке. Анализ воспринимаемого качества позволяет определить направления, в которых целесообразно производить изменения в товарах или услугах для привлечения конкретной группы потребителей. Другое направление анализа может быть связано с прогнозом изменений спроса на товар или услугу при изменении условий его использования (экономических, культурных, политических и т. д.). Еще одна задача анализа связывается с установлением взаимоотношений между разработчиком и пользователем одних и тех же объектов, товаров, услуг (выявление различий в формируемом у них воспринимаемом качестве), а также с переводом с языка «перцептивной модели» (на которой основаны предпочтения пользователей) на язык «физической модели» (исходя из которой разработчик может изменять объект с целью лучшего удовлетворения ожиданий пользователя).

Введение представления о воспринимаемом качестве в понятийный аппарат психофизики имело целью привлечь внимание и в каком-то смысле противодействовать распространяющимся в литературе упрощенным декларациям о воспринимаемом качестве как о некотором «фундаменте» для социального и экономического развития современного мира (Giordano, 2006). Действительно, требования к воспринимаемому потребителем качеству любых произведенных человеком товаров или услуг являются в настоящее время законом. Достаточно посмотреть последний действующий международный стандарт ИСО 9000:2000, в котором потребитель признается исходным пунктом системы управления качеством, а одной из регламентированных стандартом задач любого предприятия – «измерение» удовлетворенности потребителя. При этом удовлетворенность потребителя определяется как «восприятие потребителем той степени, в которой выполняются его запросы» (см.: Хилл, Сельф, Роше, 2004). К сожалению, в подобных публикациях проблемы восприятия обсуждаются меньше всего, а предлагаемые методы измерения имеют мало общего с анализом перцептивных феноменов. В результате формируется представление о том, что достаточно продекларировать ориентацию на пользователя, провести несколько серий анкетирования – и вопрос о современном уровне исследования будет решен. В действительности это далеко не так.

Представление о воспринимаемом качестве имеет глубокий психологический смысл а принятие психофизической парадигмы воспринимаемого качества требует пересмотра многих принятых в настоящее время представлений об оценке человеком событий окружающей среды и о возможных способах ее анализа. Появляются трудности не только теоретического и методического плана, но и связанные с организацией работ по «измерению» воспринимаемого качества (Лалу, Носуленко, 2005; Lahlou, Nosulenko, Samoilenko, 2002).

Нам представляется, что выход психофизики воспринимаемого качества в практическую сферу возможен на основе целостного представления о месте воспринимаемого качества в организации системы взаимодействия человек – среда. Ведь именно анализ воспринимаемого качества позволяет определить, что же является значимым для человека в той или иной ситуации, какое «качество» среды акцентируется при решении конкретной задачи, в какой степени представления разработчика о «качестве» создаваемых им объектов находят отражение в восприятиях пользователя, и наоборот.

ЛИТЕРАТУРА

- Абульханова К. А. О субъекте психической деятельности. М.: Наука, 1973.
- Барабанищikov В. А. Восприятие и событие. СПб.: Алетейя, 2002.
- Барабанищikov В. А., Носуленко В. Н. Системность, восприятие, общение. М.: Изд-во ИП РАН, 2004.
- Забродин Ю. М. О некоторых направлениях развития отечественной психофизики // Психологический журнал, 1982. № 2. С. 55–69.
- Ломов Б. Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии. М.: Наука, 1984.
- Ломов Б. Ф., Беляева А. В., Носуленко В. Н. Вербальное кодирование в познавательных процессах. М.: Наука, 1986.
- Морозов В. П. О психофизических коррелятах эстетических свойств голоса певцов разных профессиональных уровней // Психофизика сегодня. М.: Изд-во ИП РАН, 2007. С. 65–75.
- Носуленко В. Н. Психофизика восприятия естественной среды: Проблема воспринимаемого качества. М.: Изд-во ИП РАН, 2007.
- Носуленко В. Н. Психология слухового восприятия. М.: Наука, 1988.
- Носуленко В. Н. Психофизика восприятия естественной среды: Дис. ... докт. психол. наук. М.: ИП РАН, 2004.
- Носуленко В. Н. Психофизика сложного сигнала: проблемы и перспективы // Психологический журнал. 1985. № 2. С. 73–85.
- Носуленко В. Н. Системный подход в исследовании слухового восприятия // Психологический журнал. 1986. 5. С. 26–36.
- Носуленко В. Н. Пространство-время в слуховом восприятии // Психологический журнал. 1989. № 2. С. 22–32.

- Носуленко В. Н. «Экологизация» психоакустического исследования: основные направления // Проблемы экологической психоакустики. М.: ИП АН, 1991. С. 8–27.
- Носуленко В. Н. Психофизика восприятия естественной среды: смена парадигмы экспериментального исследования // Эпистемология & Философия науки. 2006. Том VII. № 1. С. 89–92.
- Носуленко В. Н. Воспринимаемое качество как инструмент психофизического исследования // Психофизика сегодня. М.: Изд-во ИП РАН, 2007. С. 75–89.
- Носуленко В. Н., Паризе Е. Свободная вербализация и оперативная методика: перспективы практического применения // Антология современной психологии конца XX века. Казань, 2001. С. 182–196.
- Носуленко В. Н., Паризе Е. Особенности восприятия шума автомобилей с дизельным двигателем // Психологический журнал. 2002. № 1. С. 93–100.
- Носуленко В. Н., Самойленко Е. С. Вербальный метод в изучении восприятия изменений в окружающей среде // Психология и окружающая среда. М.: Изд-во ИП РАН, 1995. С. 11–50.
- Носуленко В. Н., Самойленко Е. С. Системный анализ межличностного общения: концепции и модели // Идея системности в современной психологии. М.: Изд-во ИП РАН, 2005. С. 315–340.
- Рубинштейн С. Л. Принципы творческой самодеятельности // Ученые записки Высшей школы Одессы. 1922. № 2. С. 148–154.
- Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии. М.: Учпедгиз, 1946.
- Рубинштейн С. Л. Проблемы психологии восприятия // Исследования по психологии восприятия. Л., 1948. С. 3–20.
- Рубинштейн С. Л. Бытие и сознание. М.: АН СССР, 1957.
- Самойленко Е. С. Операция сравнения как предмет и средство научного исследования // Методы психологического исследования. М.: ИП АН, 1985. С. 32–44.
- Самойленко Е. С. Операция сравнения при решении когнитивно-коммуникативных задач: Дис... канд. психол. наук. М.: ИП АН, 1986.
- Самойленко Е. С. Анализ компаративных способов вербализации образа // Измерение психических характеристик человека-оператора. Саратов: СарГУ, 1986. С. 153–161.
- Самойленко Е. С. Сравнение в решении когнитивно-коммуникативных задач // Вопросы психологии. 1987. № 3. С. 128–132.
- Faure A., McAdams S., Nosulenko V. Verbal correlates of perceptual dimensions of timbre // Proceedings of the Fourth International Conference on Music Perception and Cognition. Montréal: McGill University. 1996. P. 79–84.
- Geissner E., Parizet E., Nosulenko V. Perception of delivery truck noise // Euronoise 2006, Tampere, 2006.

- Geissner E., Parizet E., Nosulenko V.* Perception du bruit d'un camion de livraison // Proceedings of CEA 2006. Tours, France: Journal de physique, 2006.
- Nosulenko V.* Problems of ecological psychoacoustics // Proceedings of the Sixth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics. Würzburg, 1990. P. 135–139.
- Nosulenko V., Parizet E., Samoylenko E.* La méthode d'analyse des verbalisations libres: une application à la caractérisation des bruits de véhicules // Informations sur les Sciences Sociales. 1998. Vol. 37. N° 4. P. 593–611.
- Nosulenko V., Parizet E., Samoylenko E.* Différences individuelles de perception de bruits de véhicules à moteur Diesel // Revue française de marketing. 2000. N 179/180. P. 157–165.
- Nosulenko V., Samoylenko E.* Approche systémique de l'analyse des verbalisations dans le cadre de l'étude des processus perceptifs et cognitifs // Informations sur les Sciences Sociales. 1997. Vol. 36 N 2. P. 223–261.
- Nosulenko V., Samoylenko E.* Evaluation de la qualité perçue des produits et services: approche interdisciplinaire // International Journal of Design and Innovation Research. 2001. Vol. 2. N 2. P. 35–60.
- Nosulenko V., Samoylenko E.* Observation and Evaluation. Detailed Description of Protocols and Methods // Ambient Agoras: Dynamic Information Clouds in a Hybrid World. Ivrea: IST. 2003. P. 161–202.
- Nosulenko V., Samoylenko E., Parizet E.* Evaluation and verbal comparison of noises produced by car engines // International Journal of Psychology: Abstracts of the 26th International Congress of Psychology. Montréal, 1996. Vol. 31. N°3/4. P. 51.
- Parizet E., Amari M., Nosulenko V.* Vibro-acoustical comfort in cars at idle: human perception of simulated sounds and vibrations from 3- and 4-cylinder diesel engines // Intern. J. Vehicle Noise and Vibration. 2007. Vol. 2. N 2. P. 143–156.
- Parizet E., Amari M., Nosulenko V., Lorenzon C.* Free verbalizations analysis of the perception of noise and vibration in car at idle // Abstract Book of Forum Acusticum. 2005. P. 128–133.
- Parizet E., Nosulenko V.* Multi-dimensional listening test: Selection of sound descriptors and design of the experiment // Noise Control Engineering Journal. 1999. Vol. 47. N 6. P. 227–232.
- Samoylenko E., McAdams S., Nosulenko V.* Systematic analysis of verbalizations produced in comparing musical timbres // International Journal of Psychology. 1996. Vol. 31. N° 6. P. 255–278.

ГЛАВА 2

ПРЕДПОСЫЛКИ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СУБЪЕКТНОГО ПОДХОДА В ПСИХОФИЗИКЕ

1. Традиционная парадигма психофизики

Рождение психологии как самостоятельной науки принято связывать с открытием в 1879 г. в Лейпциге лаборатории В. Вундта. Однако в 1860 гг. Т. Фехнер опубликовал фундаментальный труд «Элементы психофизики» (Fechner, 1860), эта публикация открыла путь в психологию объективной экспериментальной методологии, точных количественных оценок субъективных феноменов, результатом чего стало ее отделение от философии и становление как отдельной научной дисциплины. Действительно, как формулирует А. В. Брушлинский: «Психология изучает объективные закономерности субъективного» (2002а, с. 73). Традиционным предметом психофизики стало выявление базовых общепсихологических количественных закономерностей сенсорного процесса на основе предъявления строго контролируемой экспериментатором стимуляции. Фундаментальные исследования в русле этого классического направления развиваются в российской науке. Они ведутся на факультете психологии МГУ: в школе Е. Н. Соколова (1995, 2003) на новом системном уровне – при исследовании и моделировании субъективных сенсорно-перцептивных и семантических пространств в непосредственной взаимосвязи с изучением психофизиологических механизмов соответствующих процессов, а также в лаборатории психологии восприятия, в Институте проблем передачи информации РАН, в Институте физиологии РАН.

Определение количественных отношений между характеристиками входной сенсорной и несенсорной информации, с одной стороны, и характеристиками чувствительности и критерия решения, с другой, достигается с помощью классических и современных психофизических методов. С целью определения пределов чувстви-

тельности (это область психофизики-I: Энген, 1974) используются два основных методологических подхода.

1. *Пороговая методология* (Fechner, 1860). Испытуемому многократно предъявляются простые стимулы какой-либо модальности, слабые либо слаборазличимые по величине. На основе его ответов (заметил он стимул или нет; больше один стимул, чем другой, меньше или равен ему) определяются соответственно абсолютные либо дифференциальные пороги чувствительности, равные наименьшей воспринимаемой либо наименьшей различаемой величине стимулов.

2. *Методология, основанная на теории обнаружения сигнала* (Green, Swets, 1974). В рамках этой методологии (в отличие от теории Фехнера о том, что в ответе испытуемого непосредственно проявляется его чувствительность и только она) обосновано наличие второй составляющей этого ответа: принятия испытуемым решения о характере полученного сенсорного впечатления. Методы, разработанные в русле теории обнаружения, позволяют отдельно оценить обе составляющие. Для этого испытуемому предъявляется как сенсорная информация: слабые сигналы на фоне шумов либо слаборазличимые сигналы, так и несенсорная: о вероятностях сигналов и шумов либо о «ценах» его верных и ошибочных ответов, либо о степени правильности его ответов. На основе несенсорной информации он выбирает для себя критерий принятия решения, относительно которого дает ответы о своих сенсорных впечатлениях. Анализ этих ответов позволяет вычислить показатели чувствительности и критерия решения.

С целью определения величин надпороговых ощущений (это область психофизики-II: Вудвортс, Шлосберг, 1974) используется методология субъективного шкалирования С. С. Стивенса (1974). Испытуемому предъявляются различные стимулы, величины которых он оценивает по определенным процедурам, что позволяет далее определить соответствующие величины его ощущений.

В рамках всех этих трех традиционных методологических подходов исследование строится по схеме «стимул – реакция». Экспериментатор задает и контролирует входную информацию, регистрирует ответы испытуемого и на их основе вычисляет показатели чувствительности, критерия решения, величин надпороговых ощущений. Внутренние же механизмы поведения испытуемого анализируются путем построения количественных закономерностей, связывающих величины стимулов и ощущений.

Исходная установка психофизики на максимально *естественнонаучный характер измерения «чистых ощущений»* приобрела

крайнее выражение по сравнению с другими областями психологического знания, зафиксировалось и стала общепринятой. За рубежом на протяжении всей полуторавековой истории психофизики и поныне подавляющее большинство исследований по-прежнему представляет собой строго количественный анализ результатов сенсорных измерений в зависимости от заданных факторов. В пороговой психофизике Г. Фехнера и субъективном шкалировании С. Стивенса это факторы, определяющие сенсорное впечатление (величины стимулов); в современной психофизике, основанной на теории обнаружения сигнала, это также внешняя несенсорная информация (о вероятностной структуре стимуляции и/или значимостях разных категорий ответов, обратная связь), которая детерминирует процессы принятия наблюдателем решения о характере сенсорного впечатления. Поведение испытуемого исследуется как прямой результат воздействий со стороны экспериментатора, т. е. испытуемый выступает как достаточно пассивный объект этих воздействий, а его собственная активность как субъекта сенсорных измерений традиционно «выносится за скобки». Деятельность его описывается математическими моделями, как и работа технических систем. Отсюда следует методический подход к психофизическому измерению: максимально «очистить» его от психологических свойств наблюдателя и работать с одним-тремя высокотренированными испытуемыми, не учитывая особенностей их индивидуальности и деятельности.

К. В. Бардин, теоретически анализируя развитие психофизики, писал: «Вся психофизика, как классическая, так и современная, желая подчеркнуть объективность производимых измерений, традиционно стремилась быть бессубъектной наукой. Точнее говоря, стремилась свести функцию субъекта к роли пассивного регистратора происходящего... От технического измерения этот подход отличался лишь тем, что на выходе измеряющей системы вместо прибора помещался человек. Упор сделан на получении результатов в виде рядов чисел, на основе которых можно далее строить кривые рабочих характеристик наблюдателя (и психометрических функций – И. С.) и обсуждать их вид...» (Бардин, Индлин, 1993; т. 1, с. 8–9).

Конечно, влияние на результаты сенсорных измерений «переменных субъекта» (его установок, предпочтений определенных категорий ответа, степени уверенности в своих сенсорных суждениях, внимания, психологических защит) время от времени отмечалось на протяжении всей истории психофизики (см. обзоры: Корсо, 1974; Асмолова, Михалевской, 1974). Такие указания на роль «переменных субъекта» носили эпизодический и разрозненный характер.

Но теоретическое значение этих нетипичных для данной области психологии исследований чрезвычайно велико, поскольку они стали предпосылками новой субъектно-ориентированной парадигмы в психофизике, сформировавшимися в течение всей ее истории. Рассмотрим эти предпосылки.

2. Зарубежные исследования «переменных субъекта» в психофизике

В зарубежной психофизике в качестве «переменных субъекта» изучалась вначале степень уверенности испытуемого в правильности его ответов, а затем мотивационно-личностные установки и межиндивидуальные особенности, а также внимание.

Уверенность исследовалась на протяжении всего развития психофизики, пусть нечасто и с долгими перерывами. Ведь при решении пороговых задач по обнаружению, различению или опознанию признаков объектов испытуемому приходится давать ответ, несмотря на высокий дефицит сенсорной информации, поэтому состояние сомнения типично для человека. Впервые Г. Т. Фехнер в 1860 г. в своем основополагающем труде выделил объективный интервал неопределенности в задаче различения (диапазон стимулов, различие между которыми почти не воспринимается), а С. Персе (см.: Линк, 1995) в 1894 г. нашел субъективную эмпирическую меру неопределенности ощущений: степень уверенности в ответе, с которой он считал тесно связанной вероятность ответов «да». На рубеже XIX и XX вв. уверенность весьма интенсивно изучалась в психофизике в соотношении с фактической правильностью ответов и их скоростью. В середине XX в., а особенно в последнее его десятилетие исследования уверенности резко активизировались.

Начиная с 1920-х годов время от времени появлялись работы, содержащие указания на зависимость результатов сенсорных измерений от таких «переменных субъекта», как его психологические особенности, лежащие в основе предпочтения им определенной категории ответа (мотивы, установки, аттитюды, свойства личности, прежде всего, склонность к риску либо осторожности (Boring, 1920; Fernberger, 1931; Guilford, 1938; Treisman, Watts, 1966 – см.: Корсо, 1974). С. Фернбергер подчеркивал: «Чувствительность нельзя измерять абсолютными величинами, можно только утверждать, что при определенных заданных условиях опыта установлена данная степень чувствительности» (см.: Корсо, 1974, с. 241). Дж. Корсо обобщает эти разрозненные факты: порог – это переменная, зависящая от поведения субъекта. Мы получаем оценки не порога сенсорной системы, а целостного человека. В 1950-е годы в американской

психологии сформировалось психоаналитически ориентированное изучение зависимости восприятия от глубинных установок личности («New Look»). Так феномен перцептивных защит проявился в росте порогов сенсорной чувствительности при восприятии отвергаемой личностью информации. В это же время в США появилась психофизическая теория обнаружения сигнала, которая выделила в ответе наблюдателя в сенсорных измерениях, помимо сенсорной переменной – собственно чувствительности, исследуемой в предшествующей классической психофизике, еще и поведенческую переменную – процессы принятия решения. Однако обе переменные рассматриваются в теории как обусловленные *внешними* факторами: ситуацией измерения, организованной экспериментатором, т. е. методология исследования остается объектно-ориентированной, в терминологии К. В. Бардина (Бардин и др., 1988б, 1991, 1993).

На протяжении нескольких десятилетий была известна высокая межиндивидуальная вариативность получаемых субъективных шкал. Поэтому именно на данном материале первоначально стали исследоваться дифференциально-психологические механизмы такой вариативности. Вместе с тем Р. Тетсунян писал, что выяснение индивидуальной специфичности числовых оценок (сенсорных величин) не приносит никакой пользы: ни теоретической, ни практической (Teghtsoonian, 1989). В последнее время изучение роли индивидуально-психологических особенностей сенсорного исполнения активизировалось, так как экспериментальная практика все более обнаруживает их существенное влияние на получаемые результаты. О подобной активизации свидетельствует первый в истории психофизики симпозиум по индивидуальным особенностям, прошедший в 1995 г. в рамках XXVI Международного конгресса по психологии в Афинах (Abstracts, 1995). Такие работы по-прежнему ведутся преимущественно для задач шкалирования, где технология эксперимента связана с предъявлением надпороговых величин стимулов и их различий, отчетливо воспринимаемых человеком, и потому относительно проста. Гораздо менее они представлены в сфере психофизики пороговых процессов, при их изучении человеку предъявляются слабые или слабо различающиеся сигналы, и потому существенно выше технические требования к прецизионному формированию величин сигналов.

В 1960–1970-е годы развернулись психофизические исследования внимания наблюдателя, которые испытали влияние широко известных теорий Д. Бродбента о селективных каналах-фильтрах внимания (Broadbent, 1971) и Д. Канемана об ограниченных ресурсах организма, в силу которых в трудных задачах он должен решать, куда

преимущественно направить внимание (Канеман, 2006 – перевод книги: Kahneman, 1973). Был описан произвольный контроль наблюдателем стратегий внимания для учета прежде всего априорных вероятностей сигнала; селективное внимание к частотам звука, обнаружение неопределенных частот звука; высказана гипотеза о нейрональном селективном внимании в слуховой системе: о том, что предъявленные частоты звука активизируют специализированные каналы обнаружения. Изучение селективного внимания наиболее активно развернулось в прикладных исследованиях бдительности (*vigilance*): обнаружения редких сигналов оператором, где роль внимания особенно велика для успешности деятельности (так как ее монотонность снижает уровень психофизиологической активированности оператора, и он засыпает). В этих работах селективное внимание изучалось не только в зависимости от внешне заданной несенсорной информации (вероятностей сигналов и стоимостей ответов), но и от функционального состояния наблюдателя (см.: Фришман, 1990; Parasuraman, 1986; Swets, 1977).

В настоящее время резко возросло количество исследований роли внимания при выполнении психофизических задач. В течение первого пятилетия XXI в. они представлены наибольшим числом публикаций, посвященных исследованиям внутренних переменных, судя по материалам журнала «*Perception and Psychophysics*», издаваемого Международным Обществом по психофизике: работы по вниманию содержатся практически в каждом номере журнала за этот период. По экспериментальным данным разных авторов, 10–20% ответов наблюдателя не связаны со стимулами по причине его невнимания.

Отражением повышения вариативности ответов и показателей порога вследствие невнимания являются более пологие психометрические кривые (см. например: Лови, Дубровский, 1996). Установлено, что для невнимательных наблюдателей процедура «да-нет» дает более надежные оценки порога, чем процедура «вынужденного выбора» (Green, 1995), тогда как для внимательных, как известно, наоборот (Green, Swets, 1974; Бардин, 1976). Изучается произвольное распределение внимания для улучшения исполнения (Kinchla, 1992).

Анализируется также внимание нетренированного наблюдателя в сравнении с тренированным. Предложена модель локализации внимания, развивающая гипотезу о нейрональном селективном внимании (Luce, Green, 1978). Согласно другой модели (Arnold, Norman, James, 1992), оптимальное обнаружение – это результат оптимального распределения внимания между величинами сигнала. Помимо равномерно распределенного минимального внимания

ко всем величинам сигнала (в эксперименте к частотам звука), есть дополнительное внимание к определенной его величине, зависящее от диспозиции (установки) наблюдателя. Это «диспозиционное внимание» представлено как семейство нормальных кривых зависимости чувствительности от величины сигнала. Чувствительность рассматривается как пропорциональная «высоте» кривой, внимание – площади под ней. Таким образом, направленность внимания на определенную величину сигнала повышает чувствительность к этой величине. Принципиальное отличие тренированного наблюдателя от нетренированного состоит в различной локализации их «диспозиционного внимания». У тренированного оно фокусируется на уже известной ему величине сигнала (более вероятной частоте звука), т. е. каналы внимания у него узкие в отличие от нетренированного, у которого не сформировалась такая селективность. Теоретически важное следствие модели: поскольку усвоенная наблюдателем несенсорная информация (о вероятностях сигналов) настраивает его внимание, а оно повышает чувствительность, значит, нет резкого разграничения между сенсорным и «решенческим» компонентами обнаружения, постулированного в теории обнаружения сигнала. Все же представление о внимании и научении наблюдателя как функция усвоения им несенсорной информации (субъект полностью информирован о вероятностях сигналов) приближает эту модель к концепциям принятия решения с внешним научением, т. е. к объектно-ориентированной методологии в психофизике. Данная модель охарактеризована подробно потому, что такая методологическая ориентация типична и стойко сохраняется по сей день в зарубежных исследованиях внимания в сенсорных процессах. В работе, продолжающей эти исследования, в задаче обнаружения слухового сигнала изучались стратегии, используемые наблюдателем для определения направленности внимания и ее изменений – и вновь в ответ на заданные цены ответов, а не в силу собственных предпочтений (Johnson, Norman, 2004).

В многочисленных современных зарубежных исследованиях внимания в сенсорном исполнении изучаются разнообразные проявления феноменов и свойств внимания: его локализация, направленность, распределение, избирательность – прежде всего в зависимости от характеристик стимуляции (в частности, при новизне стимулов, дистракторах, маскировке), а также тренировка, инерционность, возрастные различия; сравнивается внимательная и автоматическая обработка сенсорной информации, внимание в условиях оплаты испытуемых и без нее и т. д. Подробно обзоры современных исследований внимания, выполненных на сенсорном

материале, и развиваемых на их основе теоретических концепций, представлены в работах Гусева (2002, 2004) и Уточкина (2006; Гусев, Уточкин, 2006), где направленно изучаются активационные детерминанты решения сенсорных задач.

Назревшая потребность в исследовании роли субъектных факторов в сенсорных измерениях все чаще отмечается зарубежными авторами, поскольку такие переменные всегда включены в эти измерения и практика выявила их существенное влияние на получаемые результаты. Так, Д. Люс (Luce, 1986) подчеркивает необходимость анализа в психофизических исследованиях времени ответов как характеристики функционирования внутренних когнитивных структур, что типично для когнитивной психологии в отличие от психофизики, где обычно анализируются лишь результативные пропорции ответов разных типов. Р. Ратклифф (Ratcliff, 1987) обращает внимание на зависимость критерия решения от всего прошлого опыта («past history» наблюдателя). Л. Уорд (Ward, 1981) подчеркивает недостаточность рафинированного лабораторного эксперимента, обосновывает необходимость экологизации психофизических исследований и проводит их на материале восприятия ландшафта. Такие сложные комплексные естественные объекты перцепции не могут быть представлены как простой набор ортогональных параметров. Они являются качественными взаимозависимыми атрибутами среды, восприятие которых включает компоненты высших когнитивных уровней (ассоциативные, каузальные, концептуальные), а также аффективные. И все же даже в подобных случаях зарубежные исследователи чаще всего тяготеют к традиционной методологии. Так, авторитетный специалист в области принятия решения применительно к сенсорно-перцептивным задачам Д. Викерс (Vickers, Lee, 1998) указывает на недостаточность «машинного подхода» в психофизике и изучения «идеального» наблюдателя в парадигме теории обнаружения сигнала. Он предлагает учитывать также склонность испытуемого к осторожности (caution) и его динамические (адаптивные) ответы, но в ответ на изменения экспериментальной ситуации. А основной детерминантой изучаемой автором типичной «переменной субъекта», характеризующейся как средство его саморегуляции: степени уверенности в правильности своих ответов, он называет «референтный уровень уверенности» (reference level of confidence), определяемый заданными экспериментатором инструкциями, ценами ответов (т. е. по аналогии с критерием решения в теории обнаружения сигнала).

В работе К. Боннэ и К. Полоса (Bonnet, Paulos, 2004) установлено, что величины времени реакции снижаются с ростом логарифма ве-

роютностей ответов наблюдателя в задачах обнаружения пороговой яркости и различения равновесного либо наклоненного положения человеческих фигур. Время реакции рассматривается как мера субъективной неопределенности, связанная со стратегиями испытуемого. «Субъективная неопределенность» характеризуется авторами как неопределенность ответов; обусловлена же она величинами предъявленной стимуляции и потому максимальна в случае пороговой стимуляции. При этом стратегии испытуемых анализируются как следствия введения инструкций на скорость одного из двух ответов: «наклоненная» в отличие от «равновесная». Таким образом, мы видим, что исследователи оперируют категориями «переменных субъекта» (субъективная неопределенность, стратегии испытуемых) и рассматривают их влияние на показатели исполнения. Но опять такие переменные понимаются как функции внешних факторов (заданных параметров стимуляции и решения).

Данную тенденцию отражают текущие материалы ведущих в мировой науке периодических изданий по психофизике, журнала «Perception & Psychophysics», публикуемого Международным Обществом по психофизике, а также материалы ежегодных конференций этого общества («Fechner Days» – Фехнеровских дней). В основной массе этих публикаций внешние факторы остаются генеральной детерминантой как конечных количественных индексов сенсорного исполнения, так и значения для него «переменных субъекта»: внимания и степени уверенности (в качестве же *собственных* психологических характеристик наблюдателя изучаются лишь его индивидуальные особенности, причем достаточно редко). Приведем результаты подсчета числа тех статей, которые за последнее время опубликованы в этих изданиях и отражают традиционные исследования роли в сенсорных измерениях многообразных факторов экспериментальной ситуации, с одной стороны, и роли «переменных субъекта», с другой. Отметим также группу работ, в которых изучается восприятие сложных объектов: речевых, музыкальных, изобразительных, взятых из повседневной жизни человека (в отличие от типичного использования простых искусственных лабораторных стимулов). В этих работах применяется обычная психофизическая методология и не изучаются внутренние состояния и свойства наблюдателя. Тем не менее данные разработки можно выделить отдельно, поскольку они нестандартны для психофизики в силу своей направленности на приближение к реальной жизни и потому более экологически валидны, чем традиционные. Среди исследований восприятия сенсорных стимулов, опубликованных в журнале «Perception & Psychophysics» за 2004 г., 67 посвящены изучению роли

внешних факторов экспериментальной ситуации, а 28 – роли таких психических состояний и процессов испытуемого, как внимание и память; работ первой группы в 2,4 раза больше, чем второй. Кроме того, в 10 статьях описываются результаты исследования восприятия сложных объектов. В материалах конференции Международного общества по психофизике за 2006 г. («Fechner Day'06») среди исследований восприятия сенсорных стимулов 49 характеризуют роль внешне заданных факторов и только 3 – роль «переменных субъекта»: внимания и уверенности (т. е. в 16 раз меньше); 4 работы описывают восприятие сложных объектов.

Можно констатировать, что в целом зарубежные работы, направленные на изучение субъектных факторов в сенсорных измерениях, гораздо менее представлены в печати, чем традиционные работы, они являются разрозненными и не объединяются общей идеей систематического подхода.

3. Исследования роли субъекта и его деятельности в отечественной психологии сенсорных процессов и в психофизике

В российской психофизике последовательно реализуются фундаментальные методологические принципы отечественной психологии: единства сознания и деятельности, активности человека как субъекта психического. Эти положения формировались в трудах С. Л. Рубинштейна и А. Н. Леонтьева начиная с 1930–1940-х годов и были развиты их последователями.

Соответствующий подход в психофизике был заложен исследованиями сенсорной деятельности в 1940–1960-е годы. Н. И. Чуприкова (1980) провела обзор этих работ (ниже приводятся данные ее обзора). Установлено снижение порогов чувствительности в результате активной регуляции человеком своей деятельности: при усилении произвольного внимания (Е. Н. Семеновская, Л. А. Шварц), словесной ориентировке (А. В. Запорожец), направленности на решение специальных сенсорных задач (влияние которых превосходило роль физической величины сигнала – Е. И. Бойко); вербализации сенсорного опыта (Н. И. Чуприкова, Д. А. Ошанин), изменении лабораторной сенсорной задачи путем придания ей практического значения и соответственно повышению мотивированности субъекта (Т. В. Ендовицкая, В. М. Истомина, А. Н. Леонтьев). В работах тех лет, выполненных Б. Г. Ананьевым с сотрудниками, выявлено влияние трудовой деятельности на пороги чувствительности. В школе Ананьева (Ананьев и др., 1959) установлено, что в трудных сенсорных задачах, причем практически во всех модальностях,

наблюдатели переходят от работы по непосредственному впечатлению к работе, интеллектуально опосредованной близкими чувственными впечатлениями. В школе А. В. Запорожца исследовано опосредованное восприятие детьми сенсорных качеств с помощью сенсорных эталонов и внешних предметов. В концепции сенсорных эталонов (Запорожец, 1986) обосновано, что специфически человеческое сенсорное обучение предполагает активное присвоение выработанных обществом систем сенсорных эталонов (музыкальных звуков, фонем, геометрических форм), которые становятся оперативными единицами восприятия. Сенсорное обучение было наиболее успешным, когда на начальном его этапе сенсорные эталоны предъявлялись ребенку в виде материальных образцов (работы Л. А. Венгера, Я. З. Неверович, Т. А. Репиной и др. 1960–70-х гг.: см.: Генезис..., 1976). Благодаря опредмечиванию чувственных качеств оказалось возможным подменить трудный для различения сенсорный признак другими, связанными с ним в целостном образе. Определенное восприятие сенсорных качеств положено в основу идеи об их предметном моделировании как средстве развития сенсорной сферы: эти качества ассоциировались с определенными предметами или их изображениями, что улучшало формирование звуковысотного слуха дошкольников (Запорожец, 1986; см. также обзор: Войтенко, 1989).

Пороговые задачи являются одним из наиболее распространенных в практике (прежде всего в операторской деятельности) классом задач с неопределенностью, вызванной острым дефицитом сенсорной информации. Однако, несмотря на этот дефицит, человек оказывается способным успешно решать подобные задачи, т. е. преодолевать сенсорный дефицит. К. В. Бардин (1976) в ходе экспериментального исследования цветоразличения непрерывно регистрировал процесс подравнивания испытуемыми цветовых тонов и установил, что в пороговых задачах деятельность наблюдателя, традиционно считавшаяся элементарной, является сложной, структурированной, в которой, как и в любой целенаправленной деятельности, выделяются функционально различные звенья: ориентировочные, исполнительные и контрольные. Тонкий анализ операциональных приемов, применявшихся испытуемыми, показал, что они выступают средствами решения пороговой задачи, т. е. психологическим механизмом преодоления сенсорного дефицита. Их индивидуальный характер существенно влияет на получаемые пороговые показатели, исходно призванные измерять «чистую чувствительность».

Развивая это направление анализа, автор настоящей статьи специально исследовала в эксперименте структуру деятельности

человека в пороговых задачах и ее влияние на получаемые меры порога (Скотникова, 1981).

В 1970–1980-е годы в отечественной психофизике, где, как и в психологии в целом, формировался системный подход, было обосновано принципиальное представление о системообразующем факторе, который организует всю психическую деятельность наблюдателя в сенсорных измерениях. В качестве такого фактора тогда выступила задача субъекта. А. Г. Асмолову и М. Б. Михалевской (1974) удалось определить это наиболее четко и тем самым переформулировать предмет психофизики. Авторы охарактеризовали *переход от психофизики «чистых ощущений»* к пониманию сенсорного процесса как *решения человеком сенсорных задач* в развитие концепции А. Н. Леонтьева (1975) о психической деятельности, где задаче отводится ключевая роль. М. Б. Михалевская с соавт. (Михалевская и др., 1978; Асмолов, Михалевская, 1974) раскрывает основополагающую роль задачи как не только обуславливающей критерий наблюдателя (это было показано еще в теории обнаружения сигнала), но и актуализирующей необходимый для решения уровень его сенсорных возможностей.

К. В. Бардин (1976) при изучении деятельности наблюдателя методом средней ошибки высказал теоретически важное предположение о том, что у разных испытуемых могут различаться субъективные интерпретации внешне поставленной задачи и что эти интерпретации в значительной степени определяют результаты сенсорных измерений. Ю. М. Забродин сформулировал следующие конструктивные положения:

1. Решение усвоенной и принятой человеком сенсорной задачи организует обе основные составляющие ответа наблюдателя, а именно: функционирование как процессов принятия решения, так и характеристики собственно сенсорной чувствительности, т. е. и регулятивную, и когнитивную (в терминологии Б. Ф. Ломова, 1999) подсистемы сенсорного процесса.

2. Задача определяет дискретные либо непрерывные характеристики сенсорного процесса при восприятии одного и того же объекта. Это проявилось в том, что в зависимости от задачи наблюдателя теоретически получены функции рабочей характеристики, описывающие его сенсорное исполнение, которые соответствуют либо дискретному (пороговому), либо непрерывному (беспороговому) принципу работы сенсорной системы (Забродин, 1985; Забродин, Лебедев, 1977).

В последней четверти XX в. экспериментальное развитие данных идей в сочетании с методологией современной психофизики,

базирующейся на теории обнаружения сигнала, позволило оценить влияние структурных и динамических особенностей деятельности наблюдателя, свойств его индивидуальности на составляющие порога, на характеристики чувствительности и критерия принятия решения, а не только на сами величины порога – суммарного показателя сенсорного исполнения (как это было показано в советских работах середины XX в., охарактеризованных выше). Была создана отечественная школа психофизики, в которой последовательно реализуется фундаментальный методологический принцип отечественной психологии: единства сознания и деятельности. В рамках этой школы Ю. М. Забродиным, К. В. Бардиным, М. Б. Михалевской, Н. Н. Корж, Н. И. Чуприковой, Т. А. Ратановой, Ю. А. Индлиным разработаны новаторские идеи. Наиболее интенсивные исследования развернулись по инициативе Б. Ф. Ломова в лаборатории психофизики Института психологии АН СССР (РАН), руководимой Ю. М. Забродиным. Автор данной статьи постоянно участвовала в этих работах, развивала и систематизировала психофизические исследования, проведенные в Институте (Скотникова, 2002б). Представляется необходимым обозначить здесь основные вехи этих работ, чтобы показать, что в них, по сути, в значительной степени изучались различные аспекты собственной активности (хотя это так не формулировалось) и индивидуальности наблюдателя в сенсорных задачах. В этих и рассмотренных выше отечественных и зарубежных исследованиях формировались предпосылки субъектного подхода в психофизике, что помогло впоследствии обосновать идею о системообразующей роли активности субъекта в решении сенсорных задач.

Ю. М. Забродиным дано современное определение психофизики с позиций системной методологии психологических исследований. В настоящее время к ней относят не только собственно ощущение, но и другие психические явления, взаимодействующие в процессе построения чувственного образа или оказывающие на него влияние: восприятие и память, принятие решения, внимание и др., т. е. психофизика понимается как разветвленная область психологии, изучающая законы чувственного отражения, а также поведение и деятельность человека при восприятии и оценке сигналов внешней среды (Забродин и др., 1981).

В лаборатории психофизики Института психологии исследования велись по четырем тематическим направлениям: проблемы современной психофизики изучались под руководством Ю. М. Забродина, пороговых процессов – под руководством К. В. Бардина, сенсорной памяти – под руководством Н. Н. Корж и сенсорных процессов – под руководством А. П. Чернышева. Общей темой

лаборатории было изучение структуры и динамики сенсорных процессов.

Для Забродина (1985; Забродин и др., 1977, 1979, 1981, 1984) динамика была самостоятельным и наиболее принципиальным предметом анализа, на основе которого он выявлял их структуру. Он обосновал теоретически и экспериментально фундаментальное положение о принципиальной нестационарности обеих составляющих сенсорного процесса: и принятия решения, и сенсорной чувствительности. Положение о динамичности процессов решения утвердилось двумя десятилетиями раньше в психофизической теории обнаружения сигнала (Иган, 1983; Green, Swets, 1974). Однако и в этой, и в других зарубежных моделях принятия решения, в том числе динамических (включающих научение наблюдателя), изменение критериев и правил решения понималось как реактивный процесс, вызванный и жестко детерминированный внешней несенсорной информацией, поступающей к наблюдателю от экспериментатора. В противоположность этому Ю. М. Забродин (как и сотрудник НИКФИ Ю. А. Индлин; см. Бардин, Индлин, 1993, т. 2) представлял сенсорное научение как *активный* процесс и разработал концепцию адаптивного субоптимального наблюдателя, включающую другие модели сенсорного процесса как частные случаи. Нестационарность решающей подсистемы – это вариативность критериев и правил решения; субоптимальность – изменение их наблюдателем на основе отслеживания своих ответов и прогноза характера ближайших сигналов и в результате – адаптивный переход от исходно принятого критерия к оптимальному в данной задаче. Процесс решения представлен как иерархический, обусловленный и внешней информацией, и собственной инициативностью наблюдателя. Он включает: а) определение рода критерия оптимальности; б) выбор вида критерия оптимальности на основе стоимостей ответов; в) выбор правила решения для оценки вероятности присутствия сигнала в наблюдении; г) размещение критерия наблюдателя на оси сенсорных эффектов; д) перемещение критерия по этой оси под влиянием переменных ситуации. Теоретически обосновано принципиально новое для психофизики представление о нестационарности чувствительности, тогда как, согласно теории обнаружения, при постоянстве входных сигналов сенсорная чувствительность тоже постоянна. Экспериментально обнаружена *собственная динамика образов* в сенсорном пространстве: их «пульсация», «склеивание», смещение, угасание, трансформации и т. п.

Разработана концепция внутренней структуры сенсорного пространства, теоретически описана его топология, метрика и их взаи-

мосвязь. Мгновенные значения сенсорных эффектов сигнала и шума (или двух сравниваемых сигналов) представляются векторами в k -мерном сенсорном пространстве, где k – число меняющихся векторов. Так как эти значения меняются во времени, они образуют два замкнутых объема в данном пространстве. Задача наблюдателя – найти криволинейную поверхность сечения для пересекающейся части объемов. Топология сенсорного пространства характеризует его локальные области (пороговые свойства), метрика – глобальные области (субъективные расстояния между надпороговыми стимулами). Исходя из этого, выведен обобщенный психофизический закон, описывающий не только известные логарифмическую и степенную формы связи между величинами стимула и ощущения, но и любую функцию, промежуточную между ними. Основным параметр закона связан не с физической, а с *субъективной шкалой*, т. е. отражает *психологические операции* субъекта по оценке раздражителя. Впоследствии установлено, что это уравнение все же не может охватить все многообразие психофизических функций. В целом же разработан системно-динамический подход к анализу сенсорных процессов, на базе которого сформулированы основы общей теории психофизики. Теория объединила все четыре основных раздела современной психофизики: исследования **сенсорной чувствительности** привели к созданию топологии сенсорного пространства, результатом исследования **субъективного шкалирования** стала метрика сенсорного пространства, исследования **принятия решения** привели к построению иерархической системы процессов принятия решения адаптивным субоптимальным наблюдателем, а в результате исследования **основного психофизического закона**, связывающего величину ощущения с величиной стимула, получен обобщенный психофизический закон (Забродин, Лебедев, 1977). Тем самым выполнена важнейшая в теоретическом отношении работа по интеграции психофизического знания.

Эта теория обоснована экспериментальными работами лаборатории: прежде всего в исследованиях динамики сенсорного процесса с выходом на его индивидуальные механизмы. Последние систематически начали изучаться в отечественной науке в работах Е. З. Фришман в области психофизики-I, а в НИИОПП АПН СССР Т. А. Ратановой в области психофизики-II. Обнаружены «пульсации» и критерия, и чувствительности: их периодические колебания (данные Пахомова см.: Забродин и др., 1979). По характеру динамики критерия решения выделены индивидуальные регулятивные стили, устойчиво проявляющиеся в сенсорных, сенсомоторных и мыслительных задачах (Кочетков, Скотникова, 1993). Для проникновения

во внутренние субъективно-психологические механизмы сенсорного процесса в школе Забродина впервые в отечественной науке исследован феномен степени уверенности наблюдателя при решении сенсорной задачи. Предложены методы оценки двух составляющих феномена уверенности: личностной уверенности (обнаружено, что ее детерминантой является мотивация достижений) и ситуативной уверенности, тестом на которую выступило решение задач с неопределенностью (на примере пороговых задач). Выявлены взаимосвязи этих составляющих с правильностью исполнения (Вайнер, 1991).

Обнаружены изменения величин не только критерия наблюдателя, но и его чувствительности при введении несенсорной информации об априорных вероятностях сигналов или обратной связи, это отвлекало внимание исследователей от сенсорной информации (данные Шаповалова: Забродин и др., 1984). Установлено, что перестройка решающего механизма в вероятностно-нестационарной среде (когда наблюдатель знал о возможном, но не гарантированном изменении вероятностей сигналов) представляла собой немонокотонное смещение критерия: сначала парадоксальное (противоположное изменению вероятностей сигналов), затем – оптимальное. Отражение вероятностей сигналов (изменений среды) оказалось более инертным процессом, чем отражение частот ответов (собственного поведения субъекта: Субботин, 1989). Перечисленные и другие установленные факты верифицируют принципиальные положения теории Забродина: о динамичности и взаимосвязи сенсорной и решенческой составляющих сенсорно-перцептивного процесса (в отличие от постулатов теории обнаружения об их взаимонезависимости и постоянстве чувствительности), об относительной неспецифичности индивидуально-психологического механизма принятия решения относительно содержания решения.

Концептуальные разработки Ю. М. Забродина, направленные на выявление структуры сенсорного пространства, теоретически и экспериментально развиты Г. С. Шляхтиным (Забродин и др., 1981) с выходом на анализ сенсорного пространства, отображающего субъективное время человека. Г. С. Шляхтин показал, что большинство современных психофизических теорий восприятия времени фрагментарны. Они касаются либо восприятия одновременности-разновременности, либо различения длительностей, либо их оценки. Разработана единая сенсорная модель, описывающая все эти процессы механизмом анализа той сенсорной информации, на основе которой воспринимается время и в единстве рассматривается топология и метрика субъективного пространства и времени. Одновременность-разновременность отражается на основе времени

формирования и опознания образов стимулов, длительность – на основе оценки количества сенсорной информации, поступившей за оцениваемый интервал. С переходом от малых длительностей к большим происходит смена первого механизма вторым. Эта работа первоначально велась в рамках классической объектной парадигмы в психофизике. Впоследствии же само изучаемое явление (сенсорное отражение), всегда имеющее индивидуальную окраску, натолкнуло автора на мысль о необходимости дополнить исследование субъективными аспектами, в частности, дифференциально-психофизическими и деятельностными (Шляхтин, 1991).

Исследование критических временных интервалов (50–100 мс и 1–2 с), в которых нарушается монотонная взаимосвязь между объективным и субъективным временем, и соответствующих им мозговых механизмов показало, что информация о времени обрабатывается преимущественно в левом полушарии (у правшей), т. е. на основе механизма последовательной переработки информации (Партыко, 1982).

По инициативе Б. Ф. Ломова сформировалось еще одно оригинальное направление психофизических исследований – изучение роли общения в сенсорных процессах. Установлено, что не только когнитивная и регулятивная подсистемы психики определяют оценку величин сигналов, но также и коммуникативная, что подтверждает концепцию Ломова (1999) о системном взаимодействии всех трех структур. Сенсорная деятельность приобретает специфический характер в результате общения между наблюдателями, исследованного в задачах субъективного шкалирования надпороговых стимулов. Общение, как и ожидалось, прежде всего, влияло на стратегии оценивания (что изменяло типы шкал), но кроме того – что было неожиданно – на сам сенсорный процесс (менялись сенсорные эталоны и якорные эффекты). В зависимости от типа взаимодействия наблюдателей общение улучшало либо ухудшало результаты шкалирования. Это направление, переросшее в перцептивно-коммуникативный подход в психофизике, который, в свою очередь, стал составной частью пионерского для отечественной науки экологического подхода в психофизике, разработал В. Н. Носуленко (1988).

Под руководством Забродина и Бардина изучались процессы обнаружения наблюдателем абсолютного и относительного движения. Разработана модель единого механизма детекции как собственно движения (процесса перемещения объекта), так и его смещения в поле зрения (Джафаров и др., 1983) в отличие от прежних представлений о двух независимых механизмах этих процессов. Установлено,

что для обнаружения движения необходима пространственная локализация объекта в разные моменты времени. С увеличением масштаба системы отсчета, т. е. расстояния между стимульным и ближайшим стационарным объектами, происходит снижение чувствительности к движению объекта (Линде, Соколов, 1988).

Направленность сотрудников лаборатории на достижение единства психофизического знания проявилась также в исследованиях возможностей, ограничений и развития психофизических методов с целью объединения их в общую систему. Фундаментальную работу в этом направлении провел Бардин. Он систематизировал и подробнейшим образом описал традиционные пороговые и современные беспороговые методы измерения чувствительности в связи с теоретическими концепциями работы сенсорной системы. К. В. Бардин представил эти концепции как различные подходы к решению коренной для психофизики проблемы реального существования сенсорного порога. Его монография «Проблема порогов чувствительности и психофизические методы» (1976) стала наиболее полным, основополагающим отечественным руководством по применению методов измерения чувствительности и оценки критерия принятия решения, настольной книгой для русскоязычных исследователей. Систематизация же методов второго раздела психофизики – субъективного шкалирования величин надпороговых ощущений – позже выполнена сотрудниками факультета психологии МГУ (Гусев и др., 2005). В это руководство также вошло изложение методологии факторного анализа в психофизике и краткое описание пороговых методов измерения чувствительности.

Ученики Забродина и Бардина выполнили экспериментальное сопоставление процедур и результатов классических и современных методов, что позволило графически представлять результаты и вычислять показатели, введенные в одних методах, используя показатели, полученные другими (Бардин и др., 1980; Забродин, Шпагонова, 1988; Шпагонова, 1986). Это открывает перспективу единообразного анализа данных различных методов и свидетельствует о единстве измерительных процедур психофизики.

Бардин и его сотрудники преимущественно исследовали структуру сенсорной деятельности, в частности, посредством регистрации и анализа ее процессуальной динамики. В его кандидатской диссертации выявлены ее структурные единицы: сенсомоторные операции с внешне выраженными компонентами и выдвижение предположения о стратегиях наблюдателя (которые позднее изучала автор этой работы). Впоследствии К. В. Бардин обнаружил интереснейший психологический феномен: повышение чувствительности по мере

научения, что явилось следствием извлечения наблюдателем признаков других модальностей из предъявляемой информации о простом звуковом сигнале. Здесь К. В. Бардин снова вычленял операции (уже внутренние), проводимые наблюдателем со своими сенсорными впечатлениями. На этой основе он моделировал структуру сенсорного пространства: выделял его оси, выявлял преобразование его структуры из одномерной в многомерную (Бардин, Индлин, 1993, т. 1). Это было развито в работах учеников К. В. Бардина: Т. П. Войтенко изучала формирование целостного предметного образа на основе восприятия простых сенсорных сигналов (Бардин, Войтенко, 1985; Войтенко, 1989), Т. А. Забродина (Бардин, Забродина, 1988) выявляла другой тип многомерности – уже «не по горизонтали, а по вертикали» за счет включения вышележащих когнитивных уровней, в частности, мыслительного, в развитие идей Б. Г. Ананьева. Конечно, динамический план исследований был неотъемлемой частью работы К. В. Бардина. В исследованиях сенсомоторной деятельности это процессуальный анализ, в итоге вычленялась ее структура. В работах по дополнительным сенсорным признакам это прослеживание процесса их выделения и формирования новых сенсорных осей в ходе продолжительной сенсорной тренировки, в итоге автор вновь выстраивал структуру образовавшегося пространства.

Таким образом, если Бардин как бы последовательно через динамику шел к структуре сенсорного пространства, то Забродин исследовал параллельно и то, и другое, но динамика была для него самостоятельным и принципиальным предметом исследования. Они разработали теоретические, имеющие характер формализованных построений (математизированных в работах Забродина) представления о сенсорном пространстве. Формально-математические модели психического широко распространены не только в психофизике, но и в других областях психологии, особенно на Западе.

На основе работ своей исследовательской группы Бардин наряду с Забродиным, но в ином плане обобщил психофизическое знание и сформулировал идею субъектного подхода в психофизике (Бардин и др., 1988б, 1991, 1993). Этот подход систематически разработан ученицей Бардина, автором данной статьи – и составляет его предмет. (Суть упомянутых здесь работ Бардина и содержание нашей разработки охарактеризована ниже.)

Основными направлениями работ, осуществленных под руководством Н. Н. Корж, стало изучение динамики сенсорных процессов, которая проявляется в феноменах сенсорно-перцептивной памяти, а также изучение цветового восприятия. В общей психологии традиционно исследуется вербальный уровень памяти, а в большинстве

зарубежных психофизических моделей принятия решения с научением память рассматривается как несенсорный фактор исполнения. Н. Н. Корж с сотрудниками изучают воздействие памяти на характеристики собственно сенсорного образа, т. е. анализируют сенсорно-перцептивный уровень памяти. В задачах обнаружения, различения последовательных сигналов, опознания, шкалирования стимул оценивается в сравнении с хранящимся в памяти критерием ответа или с предыдущим либо эталонным стимулом. Экспериментально установлено, что информация хранится в долговременной памяти не только в обобщенной форме, но и в виде отдельных признаков сигналов (громкости, яркости, длительности и пр.: Корж, 1989). В экспериментах с отсроченным узнаванием запомненных сенсорных стимулов неожиданно обнаружено, что при коротких отсрочках (до секунд) происходят скачкообразные смещения сенсорного эталона, а при длительном хранении (в течение 1–3 дней, недели и даже месяца) он стабилизируется и точность опознания возрастает. Это противоречит как теориям угасания следов, так и теориям интерференции и интерпретируется действием механизма консолидации и активации следов, выявленного в нейрофизиологических исследованиях (Греченко, 1979) с последующими реминисценциями этих следов. Указанный парадоксальный эффект (более точное опознание по эталону памяти, чем различение непосредственно предъявленных стимулов) установлен в работах группы на разных видах стимулов: громкостях (Корж, 1986, 1989), длительностях (Садов, 1982), яркостях (Корж, Сафуанова, Лупенко, 1990), длинах линий (Корж, Шпагонова, 1989). Помимо порождения этого явления действием механизмов памяти, оно может быть связано также с эффектами переноса навыка (обучением). Кроме того, опрос испытуемых показал, что стабилизации и хранению сенсорных эталонов в долговременной памяти способствовало то, что многие испытуемые (в зависимости от их личностных свойств) стремились ассоциативно связать их со своими жизненными впечатлениями в прошлом опыте, представляя их в наглядно-образной форме конкретных предметов (Корж, 1986). Эти данные прямо свидетельствуют о роли субъектных факторов в сенсорно-мнемических процессах.

Позднее результаты, аналогичные полученным Корж, были установлены в ряде зарубежных и отечественных работ, где подобные эффекты интерпретировались сходным образом: как способность человека запоминать и хранить сенсорные стимулы, становящиеся внутренними эталонами, критериями для оценки последующих стимулов. Пороги различения пространственных частот не менялись с увеличением межстимульных интервалов до нескольких часов

(Magnussen, Dyrnes, 1994), а также при оценке стимулов по методу единичных стимулов относительно эталона, предъявлявшегося не в начале серии, а гораздо раньше (Lages, Treisman, 1998). Пороги различения пространственных интервалов при использовании эталона в серии были сопоставимы с порогами при сравнении предъявлявшихся стимулов с 9 (!) эталонами, хранящимися в памяти испытуемых (Morgan et al., 2000). Оценки цветовых тонов относительно 25 (!) предъявленных ранее эталонов оказались точнее, чем при сравнении этих стимулов, предъявлявшихся в парах с эталонами (Данилова, Моллон, 2007).

При изучении динамики сенсорных эталонов памяти обнаружен другой вид их кратковременной нестационарности – дрейф по сенсорной шкале, а также отсутствие влияния диапазона тестовых стимулов на положение точки субъективного равенства и временную ошибку при идентификации по эталону долговременного хранения (Садов, 1982). Неустойчивость субъективных сенсорных эталонов в кратковременной памяти обнаружена также при варьировании стимуляции и процедур измерения (Забродин, Шпагонова, 1988).

Выявленная динамика следов сенсорных эффектов характеризует принципиальную нестационарность всех звеньев процесса решения сенсорной задачи (Забродин, 1985; Забродин и др., 1977, 1979, 1981, 1984). В целом разработана теория сенсорной памяти как необходимого функционального компонента любого сенсорного процесса (Корж, 1989). Разработана методика измерения дифференциальных слуховых порогов для звуковых сигналов, одновременно изменяющихся по двум параметрам: частоте и интенсивности. Испытуемые подравнивали тестовый звук к эталонному: предъявлявшемуся в паре с ним, либо запомненному. По результатам построены двумерные (т. е. плоскостные) сенсорные и сенсорно-мнемические пространства слухового восприятия в виде эллипсов пороговых различий. Сходство их с эллипсами цветовых пороговых различий Мак Адама, полученных при изменении двух параметров видимого цвета (см.: Измайлов, 1980; Корж, Леонов, 1990), позволило предположить, что эллиптичность может быть универсальным свойством двумерных сенсорных пространств (Корж, Леонов, 1990). В ходе психосемантического анализа индивидуального цветового восприятия построено трехмерное пространство эмоционально-эстетического восприятия цвета путем кластеризации ассоциаций цветов по сходству и многомерного шкалирования. По первой оси этого пространства (активность воздействия цвета) контрастировали красно-пурпурные цвета и ахроматические, по второй оси (эстетическая оценка цвета) фиолетово-сиреневый и оранжево-коричневый,

по третьей (оценка эмоционального состояния) зеленый, бирюзовый, желтый, с одной стороны, и черный, бежевый, фиолетовый, с другой. Объединение цветов на семантическом уровне происходит, прежде всего, на основе цветового тона (Сафуанова, 1994).

Отметим, что, судя по материалам журнала «Perception & Psychophysics», интерес к проблематике, которая теперь выделяется как область «Memory Psychophysics», стал заметно проявляться лишь в последние десять лет. Опубликован ряд исследований собственно сенсорного уровня памяти. Это преимущественно изучение процессов усреднения в кратковременной памяти, в том числе при восприятии временных интервалов и целостных сцен.

В исследованиях сенсомоторных процессов обосновано разграничение дискретных и непрерывных сенсорных задач (в которых соответственно и стимулы, и ответы дискретны либо непрерывны). В качестве наиболее распространенного на практике вида непрерывных задач исследованы сенсомоторные задачи слежения, основные виды которого: компенсаторное и преследующее. Показана применимость к непрерывным задачам модели адаптивного субоптимального наблюдателя, предложенной Забродиным для дискретных задач. Разработан математический метод определения координат неметрических сенсорных пространств для неоднозначных образов. Развито изучение двигательного анализатора (включающего обратные афферентации о результатах движений) вместо двигательного эффектора, а также не прямое сопоставление психических процессов с электрофизиологическими, а опосредованное системной организацией последних (Денисов и др., 1984; Николаев и др., 1985; Чернышев, Зазыкин, 1979).

Если представить целостную панораму исследований лаборатории психофизики, охарактеризованных выше, то станет очевидно, что наряду с традиционными темами в течение всего времени существования лаборатории в значительной степени изучались различные проявления активности и индивидуальности субъекта в сенсорных задачах, что определялось многообразной динамикой чувствительности и процессов решения (в исследованиях Забродина с соавт.), которая выявлена также в эффектах сенсорной памяти (в работах Корж с соавт.), внешней и внутренней операциональной структуры сенсорной деятельности (в работах Бардина и Михалевской с соавт.). Линия изучения индивидуально-психологических механизмов решения сенсорных задач была специально выделена Ю. М. Забродиным. Бардин же к ней пришел в ходе изучения сенсорной деятельности. Забродин и его школа проводили экспериментальные исследования «переменных субъекта» в значительной

степени по разным направлениям: индивидуальные особенности, деятельность, динамика, патологии. Систематически почти не анализировалось объединение этих направлений в терминах *активности субъекта* и сама эта категория, а также ее значение для психофизики. В то время интеграция психофизического знания осуществлялась, прежде всего, по линии построения общей теории психофизики, охватывающей все ее разделы и фундаментальные проблемы (Забродин и др., 1977, 1981, 1985). Специально роль *собственной активности субъекта* для психофизики выделил Бардин (см. параграф 4). Категорию же задачи при всем ее принципиальном значении можно рассматривать как соподчиненную категории субъекта, поскольку свою детерминирующую функцию выполняет задача, принятая субъектом, т. е. его собственное сформированное в конкретных условиях представление о цели, которую он реально стремится достичь.

Параллельно с Ю. М. Забродиним, Е. Н. Соколов с соавт. разработал другой вариант векторного описания сенсорных репрезентаций и построения модели сенсорного пространства, который продолжает интенсивно развиваться и в настоящее время является наиболее проработанным в отечественной науке. Забродин построил векторное описание и модель сенсорного пространства как теоретико-математические конструкты, к сожалению, эта работа не была продолжена в плане эмпирической верификации. Соколовым же и его школой в ходе 30-летних систематических исследований разработана концепция векторного кодирования воспринимаемых характеристик объекта и построена модель субъективного пространства как четырехмерной гиперсферы применительно к сенсорным и семантическим процессам, а также к восприятию экспрессии эмоций. Фундаментальный характер этой теории придает междисциплинарность исследований, на которых она базируется: сочетание теоретико-математических обоснований с эмпирическими результатами, полученными в психофизических экспериментах с использованием обработки данных многомерным шкалированием, и с нейрофизиологическим изучением механизмов психических процессов.

Согласно этой теории, стимул, воздействующий на ансамбль нейронов, порождает в каждом из них определенный уровень возбуждения. Комбинация этих возбуждений образует вектор возбуждения, характеризующий воздействие данного стимула. В процессе своей работы мозг нормирует этот вектор на 1, в результате чего разные стимулы порождают векторы возбуждения единичной длины, различающиеся только своими направлениями. Концы векторов возбуждения лежат на многомерной сфере единичного

радиуса, образующей сенсорное пространство воспринимаемых стимулов. Различие между двумя стимулами представляется в этом пространстве с помощью вектора разности (Соколов, 2003).

Эта концепция первоначально и в наибольшей степени проработана применительно к восприятию цветовых тонов (Измайлов, 1980). Известные ранее модели субъективных цветовых пространств (Munsell, 1929; Mac Adam, 1942; Hurvich, Jameson, 1955; см.: Измайлов, 1980) описывали отдельные разные аспекты цветового впечатления. Кроме того, эти модели были феноменологическими, а их связи с нейрофизиологическими механизмами лишь априорно предполагались. Исследование этих механизмов позволило предположить, что сенсорный анализатор имеет трехблоковое строение: рецепторы с широкополосной перекрывающейся чувствительностью (красные, зеленые и синие колбочки), более специализированные нейроны-детекторы и узкоселективные к тонам спектра нейроны-детекторы. Каждый детектор представлен точкой на поверхности сферы. В психофизических экспериментах исследовались все три субъективные составляющие цветового впечатления: цветовой тон, насыщенность и светлота. При этом изучались все три класса цветовых эффектов, различающиеся феноменологически и метрически: смешение цветов, их пороговые и надпороговые различия, т. е. локальная и глобальная метрика цветового пространства соответственно. Результаты представляют субъективные цветовые различия в четырехмерном сферическом пространстве, включающем две ахроматические координаты (насыщенность и светлоту) и две оппонентные хроматические: красно-зеленую и сине-желтую. Видимые цвета располагаются на такой сфере. Доказательство состоит в том, что, когда лишь одна из трех перцептивных характеристик цвета меняется монотонно, точки цветового пространства образуют правильную окружность (например, «цветовой круг Ньютона» при изменении тона и постоянстве насыщенности и светлоты). Если же меняются две характеристики, то круг превращается в эллипс (описанный в модели Мак Адама) либо искривляется локально (например, конфигурация равно-светлых цветов уплощена в желтой области, так как желтые цвета менее насыщенные, чем остальные).

Три субъективных компонента цветового впечатления образуют три «угла» гиперсферы. Два из них – цветовой тон и насыщенность – представлены на поверхности коры, третий – светлота – по глубине коры. Таким образом, четырехмерная цветовая гиперсфера «упакована» в трехмерной структуре мозга (Измайлов, 1980; Измайлов, Соколов, Черноризов, 1989; Соколов, 2003; Соколов, Измайлов, 1984).

В последнее время теоретико-экспериментальные исследования в школе Соколова позволили распространить концепцию векторного кодирования репрезентации воспринимаемой сенсорной информации в субъективном пространстве как четырехмерной гиперсферы на процессы восприятия и выражения эмоций и восприятия расстояний. При изучении эмоций испытуемые опознают эмоциональные состояния, представленные комбинациями уголков бровей, глаз и губ на схематических рисунках лиц. Эти комбинации отображаются точками на поверхности четырехмерной гиперсферы как модели субъективного пространства восприятия и экспрессии эмоций. Сфера образована концами четырехмерных векторов возбуждения нейронов, кодирующих эмоции по параметрам: гнев – страх, удовольствие – неудовольствие, эмоциональная нейтральность и эмоциональная ненейтральность. Три «угла» этой гиперсферы представляют эмоциональный тон (аналог цветового тона), эмоциональную насыщенность (аналог насыщенности цвета) и интенсивность (аналог светлоты). Психофизиологические механизмы восприятия и выражения эмоций изучаются методом вызванных потенциалов (Соколов, 2003).

Субъективные расстояния испытуемые оценивают на материале зрительно предъявляемых незаполненных отрезков. Каждый отрезок кодируется четырехмерными векторами возбуждения нейронов с параметрами, соответствующими четырехмерным типам нейронов – детекторов восприятия расстояний: ближе – дальше, правее – левее, ближе – дальше к точке фиксации, ближе – дальше к центру линии зрения.

Таким образом, развиваемая модель реально отражает системное единство психологических и психофизиологических механизмов как сенсорно-перцептивных процессов, так и семантических. Полученные результаты позволили Е. Н. Соколову предположить универсальность представления о субъективном пространстве воспринимаемого как четырехмерной гиперсферы.

4. Обоснование субъектного подхода в психофизике

В конце 1980-х годов К. В. Бардин (Бардин и др., 1988б) провел специальную работу по анализу исторического развития психофизики и в этом контексте – материалов, накопленных им и его исследовательской группой: изучения роли в сенсорном исполнении внешних и внутренних операциональных стратегий и способов деятельности наблюдателя, его индивидуальных особенностей. Он интерпретировал перечисленные факторы как проявления активности наблюдателя и вычленил таким образом общую идею, объеди-

няющие эти исследования: изучение различных «переменных субъекта», говоря языком старой психофизики, а в более привычной нам терминологии: изучение различных форм собственной активности наблюдателя в сенсорных измерениях и влияния этой активности на результаты измерений. Тезис об активности человека как субъекта своей психической деятельности привычен для отечественной общей психологии, но в психофизике она традиционно не принималась во внимание и не изучалась. Бардин сформулировал субъектный подход в психофизике как направление исследований, где наиболее эффективны усилия психологов, т. е. как своеобразную психологизацию психофизики. Он четко охарактеризовал новаторство данного направления работ по отношению к ортодоксальной психофизике и ввел представление о двух взаимодополняемых исследовательских парадигмах этой дисциплины, определив их терминологическую оппозицию как объектно- и субъектно-ориентированную.

Объектная парадигма – исходная, ставшая традиционной: она нацелена на выявление базовых количественных закономерностей сенсорного процесса (в рамках как пороговой психофизики, так и основанной на теории обнаружения сигнала) в зависимости от внешне заданных факторов. Разумеется, это остается важнейшим направлением психофизических исследований. Субъектная же психофизика, базируясь на всех достижениях количественного психофизического анализа, вводит его в контекст качественного изучения внутренней индивидуально-психологической детерминации результатов сенсорных измерений собственной активностью наблюдателя как полноправного субъекта этих измерений, а не только пассивного объекта воздействий со стороны экспериментатора. Изучение различных проявлений этой активности интегрированы в этом подходе. Материалы, обосновывающие субъектную психофизику, появились в печати уже в 1988 г. (Бардин и др., 1988б, 1991) и стали одним из фактологических оснований для разработки субъектного подхода в психологии. Разумеется, категория субъекта активно обсуждалась в Институте психологии РАН, и этот подход формировался в дискуссиях. В целом субъектное направление в психофизике на новом уровне теории, методологии и эксперимента, на основе категории «субъект», имеющей обобщающий характер, стало продолжением и развитием тех рассмотренных выше исследований в отечественной психологии сенсорных процессов и психофизике, которые выявляли значение активности наблюдателя для получаемых показателей исполнения, а также зарубежных исследований «переменных субъекта» в психофизических экспериментах.

Субъектный (субъектно-деятельностный) подход в психологии последовательно разрабатывал Андрей Владимирович Брушлинский (1994, 2002а, б, 2003), развивая положения работ С. Л. Рубинштейна (1976, 1997) и К. А. Абульхановой (1973, 1991). «Субъект – это всеохватывающее, наиболее широкое понятие человека, обобщенно раскрывающее неразрывно развивающееся единство, целостность, системность всех его качеств: природных, социальных, общественных, индивидуальных и т. д.» (Брушлинский, 2002б, с. 9).

Центральная категория субъекта стала чрезвычайно продуктивной для конкретных исследований прежде всего потому, что, во-первых, позволяет реализовать ключевое положение отечественной психологии: об *активности* человека как субъекта своей психической деятельности, и во-вторых, является *системной* по своему содержанию, поскольку включает все аспекты и уровни психического. Практика исследований показала, что это дало возможность объединить направления их изучения, а именно: психофизическое, нейро- и психофизиологическое, когнитивное, дифференциально-психологическое, личностное, деятельностное, социально-психологическое.

Обе названные принципиальные характеристики категории «субъект» (*активность и системность*) четко проявляются в субъектно-ориентированном направлении в психофизике, на которое (среди других) опирался Брушлинский в процессе развития им субъектного подхода в психологии. Он отмечал определенный отход зарубежной психологии в последнее время от представления о поведении испытуемого (subject) как прямом результате воздействий со стороны экспериментатора. «В таком смысле *the Subject* (в англо-американской литературе) – это не обязательно участник психологического эксперимента, не испытуемый, а *the Self* (самость) как целостность, как *the Actor* (деятель) и т. п.» (Брушлинский, 2002а, с. 73). Добавим, что все чаще «subject» (в смысле «только испытуемый») заменяется на «participant» (в смысле «полноправный участник эксперимента»).

Поскольку субъектный подход был нетипичным для психофизики, он встречал немало возражений со стороны специалистов, придерживающихся традиционной психофизической методологии. Поэтому автору статьи пришлось серьезно отстаивать и защищать этот подход в публикациях и докладах на конференциях. В ходе дискуссий критики субъектного подхода указывали на то, что в нем: а) теряется специфика психофизики (изучение фундаментальных количественных закономерностей сенсорных процессов, требующее отвлечения от «переменных субъекта») по отношению к общей

и дифференциальной психологии сенсорных процессов; б) нет новизны, поскольку позитивное влияние произвольной регуляции человеком своей сенсорной деятельности (включая тренировку, профессиональный опыт) давно известно.

Ответ на оба возражения, по сути, общий. И специфика, и новизна предложенной субъектной парадигмы заключаются в том, что роль активности наблюдателя в психофизических задачах изучается на основе использования аппарата современной психофизики: ее методов, теоретических и математических моделей работы сенсорной системы и принятия решения. Эта методология более сложная и дифференцированная, чем методология прежней пороговой психофизики, а также психологии сенсорных процессов и позволяет выяснить не только влияние активности субъекта на суммарный показатель сенсорного исполнения: величину порога, но – что особенно важно – выяснить *психофизические механизмы* такого влияния. А именно: определить, что именно меняется под воздействием этой активности: сенсорная чувствительность или принятие решения, независимы ли эти подсистемы или взаимодействуют, и если да, то как. Кроме того, в предмет психологии сенсорных процессов входит, прежде всего, феноменология адаптации, сенсбилизации, взаимодействия анализаторов и т. п. Предметом же психофизики является измерение ощущений, количественные закономерности решения человеком задач определенного класса: обнаружения, различения, опознания сигналов и оценки их величин. И в рамках этой специфической области психологии выделяется как направление субъектная психофизика.

К. В. Бардин (Бардин, Скотникова, Фришман, 1988б, 1991) подчеркивал, что позиция наблюдателя в измерениях исходно является активной, и представлял полученные в его исследовательской группе факты, свидетельствующие о проявлении и роли этой активности в психофизическом эксперименте. Вместе с тем в работах Бардина эти факты еще оставались рядоположенными, просто перечисленными, т. е. он сделал первый шаг: высказал идею субъектного подхода в психофизике (см. также: Бардин, Индлин, 1993, т. 1). Начиная с 1991 г. автор данной статьи вела специальную систематическую работу, подробно прослеживая предпосылки и развитие исследований, содержание которых отвечает субъектному направлению в психофизике (Бардин, Скотникова, Фришман, 1991; Скотникова, 1991, 2002а, б, 2003, 2008), теоретически систематизировала, структурировала, интегрировала и обобщила материалы, полученные ею и другими исследователями, с целью раскрыть *психологическое содержание активности субъекта в сенсорных измерениях*.

В этих работах проявления такой активности выступили как факторы, существенно влияющие на получаемые психофизические показатели. Сенсорная задача, принятая и реально выполняемая субъектом, операциональные средства деятельности по приему и переработке информации и принятию решения (как сугубо внутренние, так и имеющие внешне выраженные сенсомоторные компоненты), интер- и интраиндивидуальные механизмы выбора этих средств (свойства личности и когнитивные стили человека), функциональные состояния и рефлексивные переживания наблюдателя, обеспечивающие саморегуляцию процесса решения задачи (в частности, степень его уверенности в правильности своих решений, выступающая как субъективный индикатор того, принимать ли предполагаемое решение, а также как внутренняя обратная связь, позволяющая корректировать это и последующие решения; см. рисунок 1).

Автор рассматривает эти психические образования как компоненты системы организуемой самим наблюдателем специфичной для него индивидуально-психологической деятельности по решению сенсорной задачи, это необходимо для преодоления острого дефицита сенсорной информации в задачах порогового типа. Эти компоненты можно объединить в иерархически организованные



Рис. 1. Компоненты индивидуально-психологической структуры сенсорной деятельности субъекта, влияющие на результаты психофизических измерений

структурные уровни деятельности: мотивационно-целевые, индивидуально-психологические, когнитивно-инструментальные. Следует подчеркнуть, что выделены те компоненты индивидуально-психологической структуры сенсорной деятельности человека, влияющие на результаты психофизических измерений, которые были экспериментально выявлены в исследованиях автора. Разумеется, и другие важнейшие подсистемы психической деятельности участвуют в решении сенсорной задачи, но экспериментально это показано пока лишь для некоторых из них: памяти (Корж и др., 1986, 1989, 1990; Садов, 1982, 1986; Сафуанова, 1994; Шпагонова, 1998: см. выше), мотивационно-волевых диспозиций личности (Гусев, Шапкин, 1991; Гусев, 2004; Голубинов, 1987, 1991).

Отметим специально, что автор, формулируя предмет своего исследования как направленное изучение собственной активности субъекта *в сенсорных измерениях*, ставит своей целью в ходе анализа раскрыть психологическое содержание и структуру этой активности как *деятельности по решению сенсорных задач*, которые он *принял на себя* в ходе измерений. Тем самым предполагается определить специфику субъектной психофизики по отношению к традиционной объектной, где рассматривались как раз внешне организованные *измерения*, а не принятые наблюдателем задачи, а сам он понимался как пассивный объект воздействий со стороны экспериментатора. Формулировка же предмета исследования как «Анализ роли задачи и деятельности субъекта в решении им сенсорных задач» была бы тавтологичной.

Субъектный подход в психофизике объединил традиционно разобщенные исследовательские парадигмы: психофизическую, процессуально- и структурно-деятельностные, дифференциально-психологическую, а также психофизиологическую, на что с очевидностью указывают работы М. Б. Михалевской (1977, 1981), Т. А. Ратановой (1990), Л. В. Матвеевой (1981), – и изучение функциональных состояний и рефлексивных переживаний. Таким образом, развиваемый подход имеет междисциплинарное значение: он преодолевает изолированность психофизики от других областей психологического знания, обогащает возможности и повышает перспективность психофизических исследований за счет методической многомерности: комплексного использования методов смежных дисциплин. Все перечисленные аспекты исследований сведены воедино благодаря категории субъекта, т. е. в полученном материале проявилась и системность, и утверждение инициативности человека как автора своей психической деятельности. Категория «субъект» реально оказалась интегрирующим основанием наших исследований, его системообразующим фактором.

На протяжении своей работы автор изучала большую часть выделенных компонентов индивидуальной сенсорной деятельности. Данные, позволившие вычлнить их как факторы результатов психофизических измерений, получены мною в ходе многолетних экспериментальных исследований порогового зрительного различения (Бардин и др., 1980; Кочетков, Скотникова, 1993; Михалевская, Скотникова, 1978; Скотникова, 1981, 1990, 2002а, 2003, 2008; Скотникова, Иванов, 2004 и др.), характеристики же мотивационно-волевых диспозиций, функциональных состояний и психофизиологического обеспечения сенсорной деятельности получены другими специалистами. В теоретическом аспекте взаимосвязь интериндивидуальных особенностей с их психофизиологическими детерминантами применительно к решению сенсорных задач была рассмотрена автором (Скотникова, 1998). Аналогичный анализ интраиндивидуальных особенностей по экспериментальным данным проделан Е. З. Фришман (1990, 1991), А. Н. Гусевым с соавт. (1991, 2004), И. С. Уточкин (2006; Гусев, Уточкин, 2006). Развивая теоретико-экспериментальное изучение такого интраиндивидуального фактора как уверенность-сомнения в сенсорных суждениях (Скотникова, 2002в, 2005), Е. В. Головина (2004, 2007) исследовала взаимосвязи между аспектами уверенности (в себе, в когнитивных и сенсорных суждениях) и их когнитивно-стилевые характеристики. В результате выявлены индивидуальные стили уверенности.

Было определено именно деятельностное понимание активности наблюдателя как наиболее адекватное по сравнению с другими трактовками активности. Представление о внутреннем содержании перцептивной активности как психической деятельности субъекта характеризуется В. А. Барабанщиковым (2002, 2004) как одна из существующих (но не единственная, разумеется) парадигм исследования этой активности. Можно с очевидностью констатировать, что к теоретическим положениям, лежащим в основе данной линии исследований, концептуально близки те, на которых базируются также выделяемые Барабанщиковым парадигмы исследования перцептивной активности как поведенческого акта с позиций теории функциональных систем и как процесса решения задачи путем переструктурирования объекта и верификации гипотез (при всех различиях в методических путях исследований). Ведь во всех трех случаях восприятие рассматривается как процесс решения субъектом перцептивной задачи, а в поведенческой и деятельностной парадигмах также в равной мере ключевое значение придается образу-цели (акцептору результатов действия). Парадигмы же изучения перцептивной активности как научения (Митькин, 1988)

и как коммуникации (Носуленко, 2007) – это иные продуктивно развивающиеся направления исследований, в том числе в психофизике.

Наиболее близок к субъектному подходу в психофизике системно-деятельностный подход (Асмолов, 2002), развитый применительно к специфике психофизических исследований (Гусев, 2004). В ходе анализа роли субъекта в сенсорном исполнении ситуационные переменные (условия задачи) понимаются как объектные факторы ее решения, а мотивационно-волевые и индивидуальные свойства наблюдателя, его функциональные состояния как субъектные. Изучение тех и других факторов в единстве представляет возможность снять оппозицию объектного и субъектного подходов в психофизике. Однако такая оппозиция снимается и нашей парадигмой, поскольку она является субъектно-деятельностной по своему психологическому содержанию. Автором данной статьи выявлено на конкретном материале, что активность наблюдателя в сенсорных измерениях выступает как его индивидуально-психологическая сенсорная деятельность, операциональный состав которой определяется, с одной стороны, задачей, принятой и реально выполняемой им, а с другой – свойствами его индивидуальности. Тот факт, что дифференциальная психофизика сенсорных задач (Гусев, 2004) методологически перекликается с субъектным подходом в психофизике, связан с тем, что у авторов были одни и те же учителя в психофизических исследованиях: К. В. Бардин, М. Б. Михалевская, Ю. М. Забродин. Сходство этих подходов очевидно: в том и другом случае сенсорные процессы изучаются как процессы решения субъектом сенсорных задач, и в качестве важнейшей детерминанты результатов сенсорных измерений анализируются индивидуальные особенности наблюдателя. Различия же этих работ состоят в следующем. 1) В понимании генеральной детерминанты сенсорного процесса, его системообразующего фактора. В рамках системно-деятельностного подхода это сенсорная задача как цель в условиях, представляющая собой единство объектных и субъектных факторов, а в рамках субъектного – сам субъект, от которого зависит понимание задачи, ее принятие либо непринятие, выполнение в заданной либо трансформированной форме, отказ от нее. 2) В работе Гусева задача рассматривается в основном теоретически: выделяются ее характеристики, специфичные для сенсорных измерений, тогда как эксперименты по выполнению наблюдателями разных сенсорных задач направлены в основном на анализ интериндивидуальных факторов исполнения (параметров Айзенка) и особенно интраиндивидуальных. В этом главный пафос работы, именно поэтому ее название – «Дифференциальная психофизика сенсорных задач», а ее уникальность и новизна определяется

наиболее систематическим в отечественной науке изучением роли в сенсорных измерениях функциональных состояний наблюдателя и привлечением для этого ресурсно-активационного подхода.

В отличие от исследования Гусева в работах автора этой статьи исследуется целостная система проявлений активности наблюдателя в психофизических измерениях как его индивидуально-психологическая сенсорная деятельность, структурные составляющие которой (принятая наблюдателем задача, операциональные средства деятельности по ее решению, интер- и интраиндивидуальные факторы выбора этих средств: когнитивные стили и рефлексивные переживания уверенности – сомнительности) изучаются экспериментально. Поскольку задача понимается как цель, данная в определенных условиях (Леонтьев, 1975), то изучаются обе эти составляющие (Михалевская, Скотникова, 1978). Соответственно, условия задачи как объектные факторы ее решения входят в предмет анализа субъектной психофизики. Сказанное определяет суть субъектной психофизики как субъектно-деятельностной. Очевидно, что по психологическому содержанию (выделению роли задачи и индивидуальности наблюдателя) системно-деятельностный подход в психофизике весьма родствен субъектному, они различаются лишь акцентами: в первом случае – на задаче как цели, данной в определенных условиях, во втором – на внутренних психологических свойствах человека как творца своей деятельности по решению задачи.

Заключение

Традиционно в психофизике исследуется зависимость результатов сенсорных измерений от внешне заданных факторов: характеристик стимуляции и разного рода инструкций экспериментатора, тогда как «переменные субъекта» рассматривать не принято. Вместе с тем в зарубежной науке роль таких переменных в сенсорном исполнении (аттитюдов испытуемого, степени его уверенности, внимания, индивидуальных особенностей) время от времени обнаруживалась, и все труднее становилось не учитывать их. Эти зарубежные работы, активизирующиеся в настоящее время (но все же гораздо более редкие, чем традиционные), а также изучение в отечественной науке влияния произвольной регуляции человеком своей сенсорной деятельности на пороги чувствительности (в середине XX в.) и влияния ее структурных, динамических характеристик на современные меры чувствительности и на меры критерия решения в ходе разработки задачного подхода в психофизике послужили предпосылками формирования нетипичной для нее субъектно-ориентированной парадигмы исследований, дополнившей исходную объектно-ори-

ентированную. Выполненный автором данной статьи анализ работ лаборатории психофизики Института психологии АН СССР, проводившихся в 1970–1980-х годах, показал, что в значительной степени изучались различные проявления собственной активности наблюдателя, которые интерпретировались преимущественно в категориях нестационарности, динамичности и адаптивности поведения наблюдателя, стратегий его деятельности в сенсорных задачах, а также свойств его индивидуальности и состояний. Соответствующие три группы феноменов экспериментально изучались в значительной степени по разным направлениям. Объединение их в целостную категорию *активности субъекта*, сама эта категория и ее значение для психофизики систематически почти не анализировались, хотя Ю. М. Забродин, возглавлявший лабораторию, ввел новое представление о предмете психофизики как о целостном поведении и деятельности человека при непосредственно чувственном восприятии объектов в процессе решения им сенсорных задач. Он осуществил интеграцию психофизического знания по линии построения общей теории психофизики, объединившей все ее разделы.

В конце 1980-х годов К. В. Бардин предложил интегративный теоретико-методологический подход, в соответствии с которым выявленные в руководимой им исследовательской группе феномены активности наблюдателя были охарактеризованы как его проявления в качестве самостоятельного **субъекта** сенсорных задач, и сформулировал терминологическую оппозицию объектного и субъектного подходов в психофизике. Далее автор этой книги систематизировала, структурировала и обобщила такие эффекты, изучавшиеся в отечественной и мировой психофизике, показав, что они не рядоположенны, но объединяются в целостную систему. Теоретически проанализировано и раскрыто внутреннее **содержание** активности субъекта в психофизических измерениях, которая выступила как его индивидуально-психологическая сенсорная деятельность. Выявлена внутренняя структура этой деятельности, включающая задачу, принятую и реально выполняемую наблюдателем, его интер- и интраиндивидуальные свойства и состояния, определяемый задачей и индивидуальностью операциональный состав деятельности. Экспериментально установлено значение выделенных психологических факторов для результатов сенсорных измерений. Таким образом, развиваемый подход в психофизике является по содержанию субъектно-деятельностным в развитие теорий С. Л. Рубинштейна и А. Н. Леонтьева. Категория субъекта, на основе которой А. В. Брушлинский на современном этапе сформировал крупнейшее направление конкретных психологических

исследований, явилась реальным системообразующим фактором наших работ. В них проявились ее наиболее принципиальные характеристики: активность и интегративность.

ЛИТЕРАТУРА

- Абульханова К. А. О субъекте психической деятельности. М.: Наука, 1973.
- Абульханова-Славская К. А. Стратегия жизни. М.: Мысль, 1991.
- Ананьев Б. Г., Веккер Л. М., Ломов Б. Ф., Ярмоленко А. В. Осознание в процессах познания и труда. М., 1959.
- Асмолов А. Г. По ту сторону сознания. Методологические проблемы неклассической психологии. М.: Смысл, 2002.
- Асмолов А. Г., Михалевская М. Б. От психофизики чистых ощущений к психофизике сенсорных задач // Проблемы и методы психофизики / Под ред. А. Г. Асмолова, М. Б. Михалевской. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. С. 5–12.
- Барабанщиков В. А. Восприятие и событие. СПб.: Алетейя, 2002.
- Барабанщиков В. А., Носуленко В. Н. Системность, восприятие, общение. М.: Изд-во ИП РАН, 2004.
- Бардин К. В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М.: Наука, 1976.
- Бардин К. В., Войтенко Т. П. Феномен простого различения // Психофизика дискретных и непрерывных задач / Под ред. Ю. М. Забродина, А. П. Пахомова. М.: Наука, 1985. С. 73–95.
- Бардин К. В., Забродина Т. А. Изменения сенсорной чувствительности при решении мыслительных задач // Вопросы психологии. 1988а. № 1. С. 149–154.
- Бардин К. В., Индлин Ю. А. Начала субъектной психофизики. В 2 т. М.: Российская Академия Наук, Институт психологии, 1993.
- Бардин К. В., Михалевская М. Б., Скотникова И. Г. Сравнительный анализ методов средней ошибки и вынужденного выбора // Психологический журнал. 1980. Т. 1. № 2. С. 99–110.
- Бардин К. В., Скотникова И. Г., Фришман Е. З. Психофизика активного субъекта // Мышление и общение: активное взаимодействие с миром / Под ред. Ю. К. Корнилова. Ярославль: Изд-во ЯрГУ, 1988б. С. 34–46.
- Бардин К. В., Скотникова И. Г., Фришман Е. З. Субъектный подход в психофизике // Проблемы дифференциальной психофизики / Под ред. К. В. Бардина. М.: Изд-во Института психологии АН СССР, 1991. С. 4–17.
- Брушлинский А. В. Проблемы психологии субъекта. М.: Изд-во ИП РАН, 1994.
- Брушлинский А. В. Психология субъекта: индивида и группы (часть I) // Психологический журнал. 2002а. Т. 23. № 1. С. 71–84.
- Брушлинский А. В. О критериях субъекта // Психология индивидуально-группового субъекта / Под ред. А. В. Брушлинского. М.: ПЕР СЭ, 2002б. С. 9–33.

- Брушлинский А. В. Психология субъекта. СПб.: Алетейя, 2003.
- Вайнер И. В. Индивидуальные различия в проявлениях субъективной уверенности и особенности решения психофизической задачи // Проблемы дифференциальной психофизики / Под ред. К. В. Бардина. М.: Изд-во ИП АН СССР, 1991. С. 71–92.
- Войтенко Т. П. Сенсорная тренировка как фактор развития чувствительности: Дис... канд. психол. наук. М., 1989.
- Вудвортс Р., Шлосберг Г. Психофизика II. Методы шкалирования // Проблемы и методы психофизики / Под ред. А. Г. Асмолова, М. Б. Михалевской. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. С. 174–228.
- Генезис сенсорных способностей / Под ред. Л. А. Венгера. М., 1976.
- Головина Е. В. Категория «уверенность в себе» как когнитивный конструкт личности // Исследования по когнитивной психологии / Под ред. Е. А. Сергиенко. М.: Изд-во ИП РАН, 2004. С. 160–187.
- Головина Е. В. Когнитивно-стилевой портрет человека, уверенного в сенсорных впечатлениях // Психофизика сегодня / Под ред. В. Н. Носуленко, И. Г. Скотниковой. М.: Изд-во ИП РАН, 2007. С. 254–261.
- Голубинов В. В. Экспериментальное исследование индивидуальной динамики процесса принятия решения в условиях ложной обратной связи // Субъективная оценка в структуре деятельности / Под ред. А. А. Понукалина, Ю. М. Забродина. Саратов: Изд-во СГУ, 1987. С. 91–96.
- Голубинов В. В. Личностный контроль критерия оптимальности решения психофизической задачи // Проблемы дифференциальной психофизики / Под ред. К. В. Бардина. М.: Изд-во ИП АН СССР, 1991. С. 177–190.
- Греченко Т. Н. Нейрофизиологические механизмы памяти. М., 1979.
- Гусев А. Н. Психофизика сенсорных задач. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004.
- Гусев А. Н., Михалевская М. Б., Измайлов Ч. А. Измерение в психологии. М.: УМК «Психология», 2005.
- Гусев А. Н., Уточкин И. С. Роль активации субъекта в решении сенсорных задач различной сложности: ресурсный и функциональный подходы // Вестник МГУ. Сер. 14. Психология. 2006. № 4. С. 21–31.
- Гусев А. Н., Шапкин С. А. О некоторых особенностях динамики обнаружения сигнала // Проблемы дифференциальной психофизики / Под ред. К. В. Бардина. М.: ИП АН СССР, 1991. С. 217–242.
- Данилова М. В., Моллон Д. Д. Психофизический метод для измерения порогов различения / сравнения двух одновременно предъявляемых зрительных стимулов // Психофизика сегодня / Под ред. В. Н. Носуленко, И. Г. Скотниковой. М.: Изд-во ИП РАН, 2007. С. 26–36.
- Денисов В. А., Ляскина Ж. Д., Чернышов А. П. Экспериментальное исследование сенсомоторной модели психофизической задачи // Психофизика сенсорных и сенсомоторных процессов / Под ред. Ю. М. Забродина. М.: Наука, 1984. С. 164–184.

- Джафаров Э. Н., Аллик Ю. К., Линде Н. Д.* Обнаружение колебательного движения // Вопросы психологии. 1983. № 3. С. 90–96.
- Забродин Ю. М.* Некоторые методологические и теоретические проблемы развития психофизики // Психофизика дискретных и непрерывных задач / Под ред. Ю. М. Забродина, А. П. Пахомова. М.: Наука, 1985. С. 3–26.
- Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.* Психофизиология и психофизика. М.: Наука, 1977.
- Забродин Ю. М., Носуленко В. Н., Пахомов А. П.* Динамические аспекты процесса обнаружения // Психофизика сенсорных систем / Под ред. Б. Ф. Ломова, Ю. М. Забродина. М.: Наука, 1979. С. 9–46.
- Забродин Ю. М., Пахомов А. П., Шаповалов В. И.* Взаимосвязь показателей эффективности обнаружения сигнала // Психофизика сенсорных и сенсомоторных процессов / Под ред. Ю. М. Забродина. М.: Наука, 1984. С. 7–40.
- Забродин Ю. М., Фришман Е. З., Шляхтин Г. С.* Особенности решения сенсорных задач человеком. М.: Наука, 1981.
- Забродин Ю. М., Шпагонова Н. Г.* Взаимосвязь показателей различных психофизических методов // Психологический журнал. 1988. Т. 9. № 5. С. 129–136.
- Запорожец А. В.* Развитие ощущений и восприятий в раннем и дошкольном детстве // Запорожец А. В. Избранные психологические труды. М., 1986. Т. 1. С. 91–100.
- Иган Дж.* Теория обнаружения сигналов и анализ рабочих характеристик. М.: Наука. 1983.
- Измайлов Ч. А.* Сферическая модель цветового зрения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980.
- Измайлов Ч. А., Соколов Е. Н., Черноризов А. М.* Психофизиология цветового зрения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989.
- Канеман Д.* Внимание и усилие. М.: Смысл, 2006.
- Корж Н. Н.* Особенности кодирования акустических сигналов // Когнитивная психология. Материалы советско-финского симпозиума / Под ред. Б. Ф. Ломова и др. М.: Наука, 1986. С. 101–106.
- Корж Н. Н.* Пути и перспективы исследования проблемы памяти // Тенденции развития психологической науки. М.: ИП АН СССР, 1989. С. 34–46.
- Корж Н. Н., Леонов Ю. П.* Влияние памяти на метрику сенсорного пространства // Исследования памяти / Под ред. Н. Н. Корж. М.: Наука, 1990. С. 80–89.
- Корж Н. Н., Сафуанова О. В., Лупенко Е. А.* Сенсорно-мнемические задачи и индивидуально-личностные особенности // Психологический журнал. 1990. Т. 11. № 5. С. 24–31.
- Корж Н. Н., Шпагонова Н. Г.* Сенсорно-перцептивная память (психофизические аспекты) // Психологический журнал. 1989. Т. 10. № 3. С. 85–92.

- Корсо Д. Ф. Теоретический и исторический обзор понятия порога // Проблемы и методы психофизики / Под ред. А. Г. Асмолова, М. Б. Михалевской. М.: Изд-во МГУ, 1974. С. 229–252.
- Кочетков В. В., Скотникова И. Г. Индивидуально-психологические проблемы принятия решения. М.: Наука, 1993.
- Леонтьев А. Н. Деятельность, сознание, личность. М.: Изд-во полит. литературы, 1975.
- Линде Н. Д., Соколов А. Н. Пороги обнаружения движения на стационарном и движущемся фоне // Сенсорные системы. 1988. Т. 2. № 3. С. 281–286.
- Линк С. Волновая теория сходства и различия. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1995.
- Лови О. В., Дубровский В. Е. Исследование стратегии принятия решений «наивным испытуемым» в пороговых задачах с точки зрения ее соответствия «модели идеального наблюдателя» // Психология сегодня. Ежегодник РПО. М., 1996. Т. 2. Вып. 3. С. 7–9.
- Ломов Б. Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии. М.: Наука, 1999.
- Матвеева Л. В. Опыт применения вызванных потенциалов в психофизическом исследовании // Психофизические исследования восприятия и памяти. М.: Наука, 1981. С. 118–139.
- Митькин А. А. Системная организация зрительных функций. М.: Наука, 1988.
- Михалевская М. Б. Метод объективной сенсометрии. Объективная сенсометрия по вазомоторным реакциям кровеносной системы // Психофизические исследования / Под ред. Б. Ф. Ломова, Ю. М. Забродина. М.: Наука, 1977. С. 149–188.
- Михалевская М. Б. Объективная сенсометрия по реакции блокады альфа-ритма // Психофизические исследования восприятия и памяти / Под ред. Ю. М. Забродина. М.: Наука, 1981. С. 92–117.
- Михалевская М. Б., Скотникова И. Г. Метод подравнивания: зависимость мер чувствительности от сенсорной задачи // Вестник МГУ. Сер. 14. Психология. 1978. № 1. С. 46–56.
- Николаев С. А., Антипов В. В., Епифанов Е. Г. Пороговые характеристики двигательного анализатора // Психофизика дискретных и непрерывных задач / Под ред. Ю. М. Забродина, А. П. Пахомова. М.: Наука, 1985. С. 27–34.
- Носуленко В. Н. Психология слухового восприятия. М.: Наука, 1988.
- Носуленко В. Н. Психофизика восприятия естественной среды. М.: Изд-во ИП РАН, 2007.
- Партыко Т. В. Исследование критических интервалов времени как особенности отражения времени человеком: Дис... канд. психол. наук. М., 1982.

- Ратанова Т. А.* Субъективное шкалирование и объективные физиологические реакции человека. М.: Просвещение, 1990.
- Рубинштейн С. Л.* Проблемы общей психологии. 2-е изд. М.: Педагогика, 1976.
- Рубинштейн С. Л.* Человек и мир. М.: Наука, 1997.
- Садов В. А.* Психофизическое исследование сенсорных эталонов памяти // Психологический журнал. 1982. Т. 3. №1. С. 77–84.
- Садов В. А.* Роль сенсорной памяти в возникновении временной ошибки // Когнитивная психология. Материалы советско-финского симпозиума / Под ред. Б. Ф. Ломова и др. М.: Наука, 1986. С. 116–121.
- Сафуанова О. В.* Формы репрезентации цвета в субъективном опыте: Автореф. дис....канд. психол. наук. М., 1994.
- Скотникова И. Г.* Стратегии испытуемых в методе средней ошибки и результаты исполнения // Психофизические исследования восприятия и памяти. М.: Наука, 1981. С. 199–206.
- Скотникова И. Г.* Психофизические характеристики зрительного различения и когнитивный стиль // Психологический журнал. 1990. Т. 11. №1. С. 84–94.
- Скотникова И. Г.* Исследования в области дифференциальной психофизики – I // Проблемы дифференциальной психофизики / Под ред. К. В. Бардина. М.: ИП АН СССР. 1991. С. 18–34.
- Скотникова И. Г.* Когнитивные стили и стратегии решения познавательных задач // Стиль человека: психологический анализ / Под ред. А. В. Либина. М.: Смысл. 1998. С. 64–78.
- Скотникова И. Г.* Развитие субъектно-ориентированного подхода в психофизике // Психология индивидуального и группового субъекта / Под ред. А. В. Брушлинского, М. И. Воловиковой. М.: ПЕР СЭ, 2002а. С. 220–269.
- Скотникова И. Г.* Развитие психофизики в Институте психологии РАН (АН СССР) // Современная психология: состояние и перспективы исследований / Под ред. А. Л. Журавлева. М.: Изд-во ИП РАН, 2002б. Ч. 2. С. 20–34.
- Скотникова И. Г.* Проблема уверенности – история и современное состояние // Психологический журнал. 2002 в. Т. 23. №1. С. 52–60.
- Скотникова И. Г.* Субъектная психофизика: результаты исследований // Психологический журнал. 2003. Т. 24. №2. С. 121–131.
- Скотникова И. Г.* Экспериментальное исследование уверенности в решении сенсорных задач // Психологический журнал. 2005. Т. 26. №3. С. 84–99.
- Скотникова И. Г.* Проблемы субъектной психофизики / Отв. ред. В. А. Барбанщиков. М.: Изд-во ИП РАН, 2008.
- Скотникова И. Г., Иванов М. А.* Экспериментальное исследование восприятия равенства – различия длительностей // Исследования по когнитивной психологии / Под ред. Е. А. Сергиенко. М.: Изд-во ИП РАН, 2004. С. 94–120.

- Соколов Е. Н. Восприятие и условный рефлекс: новый взгляд. М.: УМК «Психология»; Московский психолого-социальный институт, 2003.
- Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А. Цветовое зрение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984.
- Стивенс С. С. О психофизическом законе // Проблемы и методы психофизики / Под ред. А. Г. Асмолова, М. Б. Михалевской. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. С. 54–72.
- Субботин В. Е. Психологические механизмы временной динамики принятия решения наблюдателем // Методологические и теоретические проблемы современной психологии. М.: ИП АН СССР, 1989. С. 215–224.
- Уточкин И. С. Психологические механизмы решения задачи по обнаружению сигнала: Дис.... канд. психол. наук. М., 2006.
- Фришман Е. З. Динамика сенсорно-перцептивной деятельности при монотонии и утомлении: психофизический подход // Психологический журнал. 1990. Т. 11. № 5. С. 32–42.
- Фришман Е. З. Интраиндивидуальные особенности решения сенсорных задач человеком // Проблемы дифференциальной психофизики / Под ред. К. В. Бардина. М.: ИП АН СССР, 1991. С. 197–216.
- Чернышев А. П., Зазыкин В. Г. О характеристиках точности восприятия при слежении за непрерывными сигналами // Психофизика сенсорных систем / Под ред. Б. Ф. Ломова, Ю. М. Забродина. М.: Наука, 1979. С. 189–198.
- Чуприкова Н. И. Организация и механизмы произвольных познавательных процессов и двигательных актов человека // Вопросы психологии. 1980. № 3. С. 32–44.
- Шляхтин Г. С. Системная организация поведения и деятельности во времени // Материалы Первых международных Ломовских чтений / Под ред. А. В. Брушлинского. М.: ИП РАН, 1991. С. 55–57.
- Шпагонова Н. Г. Сравнительное исследование психофизических методов при различении длительностей световых стимулов // Психологический журнал. 1986. Т. 7. № 6. С. 122–126.
- Шпагонова Н. Г. Психофизические аспекты сенсорно – перцептивных и мнемических свойств субъекта в когнитивных задачах // Ментальная репрезентация: динамика и структура / Под ред. Е. А. Сергиенко. М.: ИП РАН. 1998. С. 237–248.
- Энген Т. Психофизика – I. Различение и обнаружение // Проблемы и методы психофизики / Под ред. А. Г. Асмолова, М. Б. Михалевской. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. С. 103–174.
- Abstracts of the IVth European Congress of Psychology. Symposia of Psychophysics. Athens, Greece, 1995. P. 538–545.
- Arnold E. N., Norman R. Z., James A. Some aspects of the role of attention in audio signal detection // Fechner Day'92: Proceedings of the 8th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics / Ed. by G. Borg, G. Neely. Stockholm, Sweden. 1992. P. 1–6.

- Bonnet C., Paulos C. Reaction time as a measure of uncertainty // Fechner Day'2004: Proceedings of the 20th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics / Ed. by A. Olivera. Coimbra: Portugal, 2004. P. 320–324.
- Broadbent D. E. Decision and stress. London: Academic Press, 1971.
- Fechner G. T. Elemente der Psychophysik. Bd. I, II. 1 Aufl.: Leipzig, 1860; 2 Aufl.: Leipzig, 1889.
- Green D. M. Maximum likelihood procedures and the inattentive observer // Journal of Acoustical Society of America. 1995. V. 97. P. 3749–3760.
- Green D. M., Swets J. A. Signal Detection Theory and Psychophysics. N. Y.: Wiley. 1st ed., 1966; 2nd ed., 1974.
- Johnson E. L., Norman R. Z. Strategic allocation of attention in auditory signal detection // Fechner Day'04: Proceedings of the 20th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics / Ed. by A. M. Oliveira et al., Coimbra: Portugal, 2004. P. 412–417.
- Kinchla R. A. Attention // Annual Review of Psychology. 1992. V. 43. P. 711–742.
- Lages M., Treisman M. Spatial frequency discrimination: visual long-term memory or criterion setting? // Vision Research. 1998. V. 38 (4). P. 557–572.
- Luce R. D. Response Times. Their Role in Inferring Elementary Mental Organization. N. Y.: Oxford University Press, Clarendon Press. Oxford, 1986.
- Luce R. D., Green D. M. Two tests of a neural attention hypothesis for auditory psychophysics. Perception & Psychophysics. 1978. V. 23. P. 363–371.
- Magnussen S., Dyrnes S. High – fidelity perceptual long-term memory // Psychological Science. 1994. V. 5. P. 99–102.
- Morgan M. J., Watamaniuk S. N. J., McKee S. P. The use of an implicit standard for measuring discrimination thresholds // Vision Research. 2000. P. 2341–2349.
- Parasuraman R. Vigilance, monitoring and search // Handbook of perception and human factors. V. II. Cognitive process and performance / Ed. by K. R. Boff, L. Kaufman, J. P. Thomas. N. Y.: Wiley, 1986. P. 431–439.
- Ratcliff R. More on speed and accuracy of positive and negative responses // Psychological Review. 1987. V. 88. P. 552–572.
- Swets J. A. Signal detection theory applied to vigilance // Vigilance: theory, operational performance and physiological correlates. N. Y.: Plenum Press, 1977. P. 705–718.
- Teghtsoonian R. The study of individuals in psychophysical measurement // Psychophysics in action. Ed. by G. Ljunggren, S. Dornic. Berlin: Springer, 1989. P. 95–102.
- Vickers D., Lee M. D. Dynamic models of simple judgments: I. Properties of a self-regulating accumulator model // Nonlinear dynamics, psychology and life sciences. 1998. V. 2. P. 169–194.
- Ward L. The psychological representation of molar physical environments // Journal of Experimental Psychology. General. 1981. V. 110. P. 121–152.

Глава 3
ТЕОРИЯ ВОСПРИЯТИЯ ПРОСТРАНСТВА:
ОТРАЖЕНИЕ ГЛУБИНЫ, РАССТОЯНИЙ И НАПРАВЛЕНИЙ
ПО ИХ ФУНКЦИЯМ НА ПЛОСКОСТИ РЕЦЕПТОРОВ

Проблема пространственного восприятия применительно к зрению является одной из классических фундаментальных проблем психологии, которая имеет не только чисто научное и прикладное, но и философско-мировоззренческое значение. Коренной вопрос этой проблемы состоит в выяснении отношения между объективным физическим пространством и зрительным психологическим пространством и заключается в том, как можно видеть расстояния до предметов и между ними, их рельеф и глубину, т. е. видеть мир объемным и трехмерным, когда все его проекции на сетчатке глаза являются двухмерными. Как написано в одной из старых книг по экспериментальной психологии, «нам хотелось бы найти те признаки, те данные органов чувств, которые мы используем при зрительном восприятии пространства, и разгадать по возможности самый процесс их использования» (Вудвортс, 1950, с. 256). В этой области сделано немало открытий, связанных с именами выдающихся художников Возрождения и с трудами основоположников экспериментальной психофизики и психофизиологии восприятия Э. Генринга, Г. Гельмгольца, Г. Мюллера. Им удалось найти и описать те конкретные показания зрения и проприоцепции, которые обеспечивают зрительное восприятие глубины и удаленности и о которых до сих пор сообщается во всех учебниках и руководствах по психологии восприятия. Однако механизм использования этих показаний все еще остается во многом неразгаданным. Только последние достижения нейрофизиологии позволяют пролить некоторый свет на те процессы, которые надстраиваются над уровнем первичных сенсорных возбуждений, возникающих в двухмерных пространствах рецепторов, и осуществляют восприятие трехмерного пространства. Вместе с тем остается невыясненным строго закономерное объек-

тивное отношение между непространственными показателями пространства и их объективным источником в реальном мире – отношение, которое позволяет человеку и животным очень точно и надежно отражать расстояния между своим телом и окружающими предметами, что находит выражение в поразительной точности прицельных и схватывающих движений.

В настоящей статье решаются две взаимосвязанные задачи. Первая состоит в том, чтобы показать, что в психофизическом отношении непространственные показания пространства могут быть поняты как функции трехмерного пространства, отображенные на двухмерных пространствах рецепторов. Вторая – осветить известные нейрофизиологические механизмы, воссоздающие и строящие внутреннее трехмерное субъективное зрительное пространство на основе его первичных двухмерных функций, складывающихся на двухмерных пространствах рецепторов.

В работах Э. Геринга и Г. Гельмгольца для обозначения показаний органов чувств, необходимых для трехмерного пространственного восприятия, было введено понятие *признака*. Под признаками имелись в виду двухмерные характеристики сетчаточных изображений и проприоцептивных ощущений при аккомодации хрусталика и конвергенции глаз, наличие которых закономерно влечет за собой объемное трехмерное восприятие действительности. Это понятие прочно утвердилось в психологии и широко используется до сих пор в учебниках и руководствах.

В настоящее время признаки восприятия пространства делятся на зрительные (особенности сетчаточных изображений) и незрительные (особенности проприоцептивных ощущений при аккомодации хрусталика и конвергенции глаз).

Зрительные признаки делятся по одному основанию на монокулярные и бинокулярные, а по другому – на статические и динамические, т. е. те, которые имеют место при неподвижном положении глаз, и те, которые возникают при движениях глаз и головы наблюдателя.

Перечислим коротко основные прочно установленные признаки, обеспечивающие зрительное восприятие пространства (глубины, удаленности, расстояний).

Монокулярные зрительные статические признаки:

- линейная перспектива;
- воздушная перспектива;
- частичное закрытие более удаленного предмета предметом более близким;
- светимость и затемненность;
- градиент текстуры поверхностей.

Бинокулярный зрительный статический признак:

- бинокулярный параллакс, или бинокулярная диспаратность.

Монокулярный зрительный динамический признак:

- параллакс движения, или двигательный параллакс.

Монокулярные и бинокулярные незрительные динамические признаки:

- степень аккомодации хрусталика;
- степень конвергенции глаз.

Способность зрительной системы использовать признаки удаленности и глубины очень велика. Так, по данным одного из исследований, приводимых в книге Х. Шиффмана, возможна идентификация такой разницы в удаленности двух объектов, которая соответствует сетчаточной диспаратности, равной всего 1 микрону (0,001 мм). В ряде психофизических экспериментов было показано, что ошибка наблюдателей в абсолютной оценке расстояний в среднем не превышает 1% от их объективной величины. Корреляция величин оцениваемых расстояний с реальными, варьирующими от 25 м до 1,5 км, в оптимальных условиях оказалась очень близкой к единице.

Хотя непространственные признаки зрительного пространства являются твердо установленным фактом, их психофизический смысл остается далеко не ясным. Говорят о том, что признаки «задают» или «сигнализируют» пространство, «указывают» на глубину и удаленность объектов, содержат в себе информацию о пространстве, которая «извлекается» из них зрительной системой. Но почему это возможно и как конкретно происходит? Остается нераскрытым закономерное отношение между непространственным признаком и его объективным трехмерным источником, которое делает возможным надежное использование признака.

Чтобы внести ясность в вопрос о психофизической природе непространственных признаков пространства, имеет смысл начать не с пространственного зрения человека и высших животных, а с одного более простого и демонстративного примера пространственного поведения одного из высокоорганизованных членистоногих – скорпиона.

В литературе (Фролов, 2002) описаны результаты цикла поведенческих, психофизических и нейрофизиологических исследований, проливающие свет на то, как скорпион точным прицельным прыжком настигает жертву, приземляющуюся на различных от него расстояниях.

Из физики известно, что падение на песчаную почву какого-либо предмета вызывает два вида ее колебательных распространяющихся

волновых вибраций – поверхностные волны Рэлея и глубинные волны сжатия. Поверхностные волны распространяются с меньшей скоростью (40–50 м/с), чем глубинные (120–200 м/с). Оказалось, что органы вибрационной чувствительности скорпиона улавливают эти два разных вида волн, которые вызываются приземлением жертвы на песок. На рэлеевские волны реагируют так называемые щелевидные сенсиллы, а на волны сжатия – чувствительные волоски. Расстояние до цели определяется по величине запаздывания между этими двумя ответами. Поскольку разница во времени прихода этих двух волн к органам чувств скорпиона закономерно зависит от расстояния, которое они прошли от своего источника, то она служит надежным определителем расстояния до этого источника, т. е. до жертвы. Но чтобы использовать в поведении эту временную разницу возникновения двух возбуждений, в нервной системе скорпиона должны существовать нейроны, надстраивающиеся над первым слоем вибрационных рецепторов и реагирующие на эту разницу. Такие нейроны в литературе не описаны, но необходимость их существования вытекает из общей физиологической теории нейронов-детекторов. Поражает удивительная точность работы нейрональной системы, которая по разнице во времени прихода к вибрационным рецепторам двух последовательных волн поразительно точно «вычисляет» расстояние до их источника, а затем посылает к органам движения точно дозированные команды, вызывая разные по силе мышечные сокращения конечностей животного. А разные по силе мышечные сокращения ведут к реальному восстановлению расстояния до жертвы при той или иной длине прыжка скорпиона.

Из сказанного можно сделать вывод, что разница во времени прихода к вибрационным рецепторам скорпиона двух волн – поверхностной и глубинной – есть несомненный надежный признак расстояния до приземлившейся на песок жертвы. Вместе с тем более важный и фундаментальный вывод может состоять в том, что *эта разница есть функция расстояния, которое две волны, имеющие разную скорость распространения, проходят из точки своего возникновения* – $T_2 - T_1 = F$ *расстояния* – и что именно эта функция отображается в рецепторах и нервной системе скорпиона. Рассмотрим это более подробно.

Что такое расстояние от скорпиона до жертвы? Ясно, что оно не является каким-либо материальным физическим объектом. Это идеальная воображаемая прямая линия, которая соединяет два объекта – тело скорпиона и тело его жертвы. Если такую линию прочертить реально, то ее можно измерить в единицах длины. Но так как никакой линии на песке нет, то расстояние как таковое никак

не может подействовать на органы чувств скорпиона и поэтому никакое его прямое отражение для животного невозможно. Однако в эволюции был найден не прямой, а косвенный способ отражения расстояния по его функции $T_2 - T_1$ на плоскости вибрационных рецепторов. Объективное положение вещей таково, что если вдоль какой-либо линии на уровне какой-либо ее точки послать одновременно две волны, идущие на определенном расстоянии от линии и имеющие разную скорость распространения, то по времени запаздывания прихода одной волны по сравнению с другой на уровне какой-либо другой точки линии всегда можно точно восстановить расстояние, которое прошли эти волны, т. е. расстояние между двумя точками. Это возможно потому, что $T_2 - T_1 = F$ расстояния.

Как мы видели, именно эта функция отражается нервной системой скорпиона, что происходит в два последовательных этапа. Сначала на поверхности вибрационных рецепторов последовательно, с определенной временной задержкой возникают два очага возбуждения. Затем новый слой нейронов-детекторов, избирательно настроенных на улавливание определенной временной задержки этих двух возбуждений, должен определить, какая именно ее величина имела место в каждом конкретном случае.

В заключение по этой функции в длину прыжка животного вновь восстанавливается реальное расстояние до жертвы. Это возможно потому, что в центральных нейронах скорпиона разница $T_2 - T_1$, уловленная детекторами, должна переводиться в строго пропорциональную ей и, следовательно, в строго пропорциональную расстоянию силу мышечных сокращений конечностей животного.

Из сказанного ясно, насколько неразрывны механизмы пространственного восприятия и пространственного поведения. С теоретической точки зрения данный пример ясно демонстрирует справедливость определения психики как отражения действительности и регулятора поведения.

Если теперь посмотреть на установленные в психологии зрительного восприятия признаки расстояния и удаленности, то надо заключить, что все они представляют собой разные функции объективной удаленности и объективного расстояния, которые сами по себе прямо никак не могут оказывать воздействие ни на какие органы чувств.

Линейная перспектива – это функция расстояния как система прогрессивно и пропорционально убывающего размера сетчаточных изображений объектов по мере их удаления от глаз наблюдателя.

Бинокулярный параллакс – это функция расстояния, выраженная через величину различий изображений объектов на сетчатках

правого и левого глаза, которая пропорциональна удаленности предметов от наблюдателя. На уровне рецепторов глаза эта функция выступает как бинокулярная диспаратность, а на более высоких уровнях зрительной системы отображается в возбуждении описанных в литературе детекторов диспаратности, избирательно настроенных на различные ее значения. Нейрофизиологический механизм бинокулярного пространственного зрения во всех его деталях достаточно сложен, но самый общий принцип бинокулярного восприятия глубины и удаленности прост и состоит в том, что здесь используется одна вполне определенная функция расстояния.

Другие признаки расстояния и глубины основаны на использовании других функций, которые являются более простыми или более сложными. Воздушная перспектива, закрытие более удаленного предмета более близким, градиент текстуры поверхности, светимость и затемненность – это относительно не очень сложные функции удаленности и глубины. Видимо, самая сложная функция – это двигательный параллакс. Он является функцией расстояния, возникающей при движениях глаз и головы наблюдателя. Функция расстояния состоит в том, что сетчаточные проекции более близких к глазу объектов при движениях глаз и головы смещаются пропорционально сильнее, чем проекции объектов более удаленных. Во-вторых, объекты в полях зрения, расположенных ближе и дальше точки фиксации, кажутся движущимися в разных направлениях.

Незрительные признаки также представляют собой функции расстояния, поскольку напряжение мышц, регулирующих кривизну хрусталика и обеспечивающих конвергенцию глаз, пропорциональны расстоянию до фиксируемого глазами объекта.

Впечатляющее конкретное воплощение универсальный принцип отражения удаленности и расстояния по их функциям получил в организации пространственного поведения летучих мышей на основе эхолокации.

Суть эхолокации в том, что летучая мышь излучает в окружающее пространство ультразвуковые сигналы, а ее слуховая система воспринимает как исходные сигналы, так и их отражение от окружающих предметов. Разница во времени восприятия первого сигнала и его возвращения служит очень точным надежным признаком расстояния до предмета, так как является его функцией. Разница во времени возникновения двух возбуждений в слуховой системе мыши, первое из которых вызывается исходным звуком, а второе – звуком отраженным, регистрируется нейронами-детекторами, избирательно настроенными на определенные временные интервалы между этими двумя рецепторными возбуждениями. В целом вся эта

слуховая и детекторная система является надежным определителем расстояния от тела мыши до окружающих ее предметов. Помимо летучих мышей, у которых нейронные механизмы эхолокации хорошо изучены, способность к эхолокации имеется у дельфинов и некоторых птиц. Есть данные, что эта функция расстояния может использоваться для ориентации в пространстве слепыми людьми. В литературе сообщается поразительный факт, как слепая от природы наездница, победительница многих соревнований, обладала способностью огибать углы и вписываться в крутые повороты трассы, основываясь на восприятии разницы во времени прихода исходных и отраженных звуков, производимых копытами ее лошади.

Адекватное поведение в окружающем пространстве требует оценки не только удаленности и расстояний, но и направления, в котором находятся объекты по отношению к телу живого существа. Сегодня можно считать установленным, что оценка направления определяется различиями возбуждений (их временной, силовой и пространственной несимметричностью), которые по-разному расположенные объекты вызывают в симметричных органах чувств и которые улавливаются системой тонко настроенных специализированных нейронов-детекторов. Направление, в котором расположены разные предметы по отношению к телу живого существа, так же, как и расстояния и удаленность, не является каким-либо физическим объектом, который мог бы прямо воздействовать на органы чувств. Но, как и в случаях глубины и удаленности, направление отражается живым существом по его функциям, отображенным на рецепторных поверхностях органов чувств. Поскольку органы чувств симметричны, то любое положение объекта, не совпадающее с их центром, будет вызывать в них несколько различающиеся возбуждения. Поэтому различия соответствующих возбуждений являются функцией направления, которое и используется живыми существами для его определения.

Этот процесс хорошо изучен применительно к бинокулярному пространственному слуху человека и животных, к их способности определять положение источника звука в пространстве. Основой этого служит способность специализированных нейронов слуховой системы оценивать различия во времени прихода звука на правое и левое ухо и различия в интенсивности звука на каждом ухе. Если источник звука лежит в стороне от средней линии головы, то звуковая волна приходит на одно ухо несколько раньше и имеет несколько большую силу, чем на другом. Соответственно в слуховых проекциях возникают возбуждения несколько различные по времени возникновения и по своей силе. А в слуховых центрах

имеются специализированные нейроны-детекторы, улавливающие эти различия. Они характеризуются узкой настройкой на определенный диапазон различий бинауральных возбуждений по времени и по интенсивности. Острота бинаурального слуха человека очень высока: положение источника звука в пространстве может быть определено в оптимальных условиях с точностью до 1 углового градуса. В экспериментах было показано, что при отдельной стимуляции через наушники правого и левого уха задержка между звуками всего в 11 миллисекунд или различия в интенсивности двух звуков всего в 1 дБ приводят к ясно воспринимаемому сдвигу в локализации звука от средней линии в сторону звука более раннего или более сильного. Видно, насколько тонко используется воплощенная в разной активности симметричных слуховых проекций функция направления, в котором находится слышимый звук по отношению к телу человека. Если поворачивать голову в направлении слышимого звука, то в какой-то момент все параметры звуковой волны в обоих ушах окажутся одинаковыми и соответственно одинаковыми станут первичные возбуждения слуховых рецепторов. Это произойдет, когда источник звука окажется расположенным на одинаковом расстоянии от обоих ушей. Произшедшее теперь совпадение всех параметров возбуждения в слуховых проекциях правого и левого уха будет надежным признаком того, что источник звука находится прямо спереди. Признак основан на том, что совпадение всех параметров симметричных возбуждений есть функция нахождения источника звука, лежащего строго по средней линии тела.

Сходный принцип определения направления действует у скорпиона применительно к его вибрационной чувствительности. У скорпиона имеется восемь органов вибрационной чувствительности, расположенных по окружности его тела. Поэтому, где бы ни приземлилась жертва, фронт вызванных ее приземлением волн раньше всего достигает какого-либо одного определенного органа чувств и возбуждает его раньше других. Таким образом, пространственное положение раньше других возбужденных рецепторов по сравнению со всеми остальными является функцией направления, откуда пришла вибрационная волна и, следовательно, надежным признаком этого направления.

Наше чувственное восприятие пространства трехмерно. Так же трехмерно наше представляемое и воображаемое пространство. Поэтому говорят о существовании в психике человека модели внешнего мира, отражающей земное пространство в его реальном трехмерном существовании, проводятся исследования топологии и метрики субъективного пространства. Надо думать, что трехмерная психоло-

гическая модель объективного пространства строится на основе интеграции и координации многих его разных функций, отображенных на рецепторных поверхностях организма и «воплощенных» в работе разных детекторных систем. Эта модель развивается с возрастом. Так, хотя маленький ребенок уверенно избегает обрыва (Э. Гибсон и Р. Уолк) и начиная с шести месяцев способен правильно оценивать близкие расстояния, что проявляется в адекватных расстоянию дотягиваниях и схватываниях объектов, при оценке далеких расстояний вплоть до пяти лет он делает грубые ошибки. В данном отношении очень интересен результат эксперимента с одним испытуемым, описанный Р. Вудвортсом. Испытуемый обучался распознавать различия в удаленности двух световых пятен исключительно на основе признака аккомодации, так как все другие функции удаленности были исключены (методика светящихся точек Бурдона). Испытуемый выработал полезную стратегию определения удаленности объектов. Он начинал с аккомодации на большое расстояние, а затем, усиливая аккомодацию, замечал, какой из объектов раньше начинал становиться отчетливо видимым. Этот объект и оценивался как более удаленный. Но когда по мере практики этот прием автоматизировался, впечатление глубины стало казаться непосредственно воспринимаемым, а не выведенным путем умозаключения, как было вначале. Вероятно, это могло произойти тогда, когда новая функция расстояния встроилась в уже существовавшую у испытуемого психологическую модель трехмерного пространства.

Общий вывод

Рецепторы сенсорных систем представляют собой плоскости, на которых получают двухмерное отображение разные функции протяженности объективного трехмерного пространства и его векторных характеристик (направлений) по отношению к телу живого существа. Специализированные нейроны-детекторы, настроенные на регистрацию этих функций, строят на их основе внутреннюю трехмерную модель, являющуюся отражением реального трехмерного пространства. Нейроны этой модели посылают разные по структуре и тонко дозированные по интенсивности импульсации к нейронам двигательных систем, обеспечивая точное воспроизведение в направлении и амплитуде движений по отношению к целевым объектам (точное их схватывание, точные прицельные прыжки) параметров реального объективного пространства.

Проведенный анализ позволяет постулировать еще одну очень важную группу незрительных признаков пространства, которая до сих пор в литературе не обсуждалась. Аналогично мышечным

ощущениям при аккомодации и конвергенции глаз ощущения от совершаемых по направлению к цели движений конечностей также должны быть надежными признаками направления и расстояния до цели. Это должно быть обусловлено тем, что интенсивность и длительность проприоцептивных афферентаций, возникающих при целевых движениях, а также их структура являются закономерными функциями расстояния до цели и ее расположения по отношению к действующему субъекту. Возникающие при осуществлении движений узоры возбуждений на поверхности проприоцептивных рецепторов в своих силовых, временных и структурных характеристиках должны содержать закономерные функции характеристик движения и, следовательно, характеристик объективного трехмерного пространства, в котором движения осуществляются. Поэтому внутренняя субъективная модель трехмерного пространства должна рассматриваться как центральный элемент рефлекторного кольца, начинающегося отражением пространственных характеристик целевых объектов, афферентирующих движение, и заканчивающегося повторным отражением этих характеристик, воплощенных в параметрах целенаправленных движений. Оценка точности движений и их корректировка могут происходить только на нейронах внутренней модели трехмерного пространства.

В заключение следует сказать, что теоретические представления в области двух других классических проблем психологии восприятия – проблемы константности величины и стабильности зрительного поля, несмотря на смещения сетчаточных проекций объектов при движениях головы и глаз, также требуют обращения к понятию о внутренней субъективной психологической модели объективного трехмерного пространства.

ЛИТЕРАТУРА

- Вудвортс Р. Экспериментальная психология. М.: Изд-во иностр. лит., 1950.
- Грэхем Ч.Х. Зрительное восприятие // Экспериментальная психология / Под ред. С. С. Стивенса. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. С. 445–507.
- Соколов Е. Н. Восприятие и условный рефлекс. Новый взгляд. М.: УМК «Психология»; Моск. психолого-соц. ин-т, 2003.
- Фролов Ю. Как скорпион находит жертву // Наука и жизнь. 2002. № 5. С. 23–24.
- Шиффман Х. Ощущение и восприятие. СПб.: Питер, 2003.
- Экспериментальная психология. Вып. VI. Психология восприятия / Ред.-сост. Л. Фресс, Ж. Пиаже. М.: Прогресс, 1978.

ГЛАВА 4

ВКЛАД ПРОИЗВОЛЬНОГО И НЕПРОИЗВОЛЬНОГО ВНИМАНИЯ В ПРОЦЕСС ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗРИТЕЛЬНОГО СТИМУЛА

Сенсорно-перцептивные задачи могут характеризоваться значительным количеством вариаций стимульных условий. Например, интенсивность, длительность стимулов, вероятностная структура их предъявления, особенности априорной информации и др. Даже в весьма упрощенной ситуации лабораторного эксперимента (как правило, в нем варьируются не более 1–2 стимульных условий при незначительном числе градаций уровней) комбинация этих параметров может создавать значительное число «степеней свободы», которые могут вносить существенный вклад в рост информационной неопределенности для наблюдателя. Очевидно, что в реальной жизни любой человек сталкивается с гораздо более разнообразными стимульными условиями, комбинация которых создает почти бесконечное число «степеней свободы». Тем не менее наблюдатель без труда справляется с решением текущих задач, даже не всегда осознавая той степени информационной неопределенности, в которой он действует.

Для типичных психофизических задач обнаружения, различения, опознания сигналов формирование психологического механизма координации избыточных степеней свободы и снижения и тем самым степени неопределенности может быть весьма критично, поэтому крайне важна селективная настройка сенсорно-перцептивной системы на специфические стимульные условия, релевантные решаемой сенсорной задаче. Поскольку речь идет именно о селективной настройке, то важнейшую роль в координации избыточных степеней свободы должны играть процессы селективного внимания.

В плане анализа роли внимания в формировании селективной настройки в задачах пространственной локализации вслед за М. Познером (Posner, 1988; Posner, Fan, 2004) среди всего многообразия

функций внимания особо выделим *пространственную ориентировку*. Эта функция состоит в выборе строго определенной части информации, соответствующей релевантным стимульным характеристикам. Фактически такая трактовка ориентировочной функции внимания сближает ее с классическим понятием «установки на стимул», предложенным Д. Бродбентом (Бродбент, 1976). С точки зрения формирования ожиданий в ситуации неопределенности, это означает поиск некоторого признака, с высокой долей надежности маркирующего появление сигнального события среди всех прочих событий. Наиболее ярким примером такого маркера является информация о потенциальном пространственном положении будущего стимула. Как показывает богатая экспериментальная практика, пространственная ориентировка хорошо поддается экспериментальному моделированию и действительно вносит существенный вклад в решение сенсорно-перцептивных задач. Для большинства исследователей термин «ориентировка», по сути, эквивалентен понятию «пространственная ориентировка», или «пространственное внимание». В парадигме обнаружения сигнала ориентировка нацелена, в первую очередь, на преодоление пространственной неопределенности.

Экспериментальные исследования пространственного внимания проводились во второй половине 1970-х годов в рамках когнитивной психологии. В современной когнитивной психологии внимание сравнивается с лучом прожектора ограниченного сечения, который перемещается по зрительному полю и в разные моменты выхватывает отдельные участки этого поля, обеспечивая приоритет в переработке тем стимулам, которые попадают в освещенный прожектором участок (см.: Дормашев, Романов, 2002; Fernandez-Duque, Johnson, 2002).

Именно это сравнение легло в основу ведущей экспериментальной парадигмы исследования ориентировки внимания – так называемой *методики подсказки*. Она была предложена М. Познером и его коллегами (Posner et al., 1978). В классическом варианте методики подсказки испытуемый должен фиксировать точку в центре экрана. Справа и слева от точки предъявляются две прямоугольные рамки. В инструкции испытуемому предлагается как можно быстрее нажать на кнопку, если в одной из рамок появится целевой стимул. Кроме того, задача испытуемого может состоять и в локализации, различении или опознании целевого стимула. Основным показателем продуктивности испытуемого – время реакции на этот стимул. Перед тем как появится цель, на экране предъявляется предупреждающий стимул-подсказка, который сообщает испытуемому о том, в какой из пространственных позиций (рамок) может появиться

цель. Подсказка может быть верной или неверной. *Верной* называется подсказка, которая указывает именно туда, где появится целевой стимул, *неверной* – та, которая указывает на противоположную сторону. Если сравнение средних значений ВР при верных и неверных подсказках обнаруживает значимое различие, то говорят об *эффекте ориентировки*.

С первых работ, посвященных психологии внимания, общепринятым является разделение двух его видов: произвольного и непроизвольного. Такое разделение принято и в исследованиях ориентировки. Методически это достигается путем варьирования формы предъявления подсказки. Первый вариант: подсказка появляется в том же самом месте, что и цель, привлекая внимание к этому месту автоматически (непроизвольно) – этот тип подсказки называется *периферическим*. Второй вариант: предъявление подсказки в другом месте пространства, как правило, в точке фиксации взора, причем сама подсказка дает испытуемому информацию о месте появления целевого стимула в символической форме (чаще всего в виде стрелки), тем самым предполагая произвольный сдвиг внимания. Этот тип подсказки называется *центральным*.

Еще одним традиционным элементом экспериментального дизайна в рамках методики подсказки является варьирование временного интервала между моментами начала предъявления стимула-подсказки и стимула-цели (асинхрония включения стимула – АВС). Делается это для того, чтобы ответить на вопрос о динамике ориентировки во времени.

Наконец, последний фактор, действие которого часто варьируется в экспериментах с подсказкой, – это процентное отношение количества верных и неверных подсказок в рамках одной серии (наподобие априорной вероятности сигнала и шума в классической парадигме обнаружения сигнала). Обычно этот фактор принято называть *достоверностью подсказки*. Введение этого фактора призвано определять степень доверия наблюдателя той информации, которую несет подсказка. Поскольку информация о количестве верных и неверных подсказок требует ее предварительного осмысления и принятия/непринятия со стороны испытуемого, то, как правило, данный фактор активно контролируется в экспериментах с центральной подсказкой, т. е. экспериментов, нацеленных на изучение произвольной ориентировки.

Результаты многочисленных экспериментальных исследований ориентировки указывают на то, что этот процесс имеет сложную системную регуляцию. Причем это касается как произвольной, так и непроизвольной ориентировки. Стоит также отметить, что дина-

мические характеристики процессов произвольной и произвольной ориентировки достаточно сильно различаются (Фаликман, 2006; Bartolomeo et al., 2007). В таблице 1 приведена сравнительная характеристика двух видов ориентировки внимания, согласно классическим работам в этой области.

Две формы ориентировки имеют, по-видимому, несколько различные механизмы. Причем, судя по динамической картине, произвольная ориентировка организована не менее сложно, чем произвольная. Так, особый интерес исследователей в течение последних 20 лет вызывает характерный двухфазный паттерн ВР, который является устойчивым признаком и отличительным знаком («автографом») процесса произвольной ориентировки. Первая фаза данного паттерна наблюдается при коротких интервалах между верной подсказкой и целью (до 300 мс), когда ответ ускоряется, по сравнению с нейтральным условием. По истечении 300 мс после подсказки начинается вторая, наиболее парадоксальная фаза, когда скорость ответа на целевой стимул, наоборот, снижается. Эта фаза получила в литературе название «торможения возврата» (Posner et al., 1985; см.: Уточкин, Фаликман, 2006а, б).

Таблица 1

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОЛЬНОЙ И ПРОИЗВОЛЬНОЙ
ОРИЕНТИРОВОК ВНИМАНИЯ

Произвольная ориентировка	Непроизвольная ориентировка
Достигает максимальной эффективности примерно через 400 мс от начала предъявления подсказки (Jonides, 1981; Posner, 1980; Posner et al., 1978)	Двухфазный паттерн Максимальная эффективность через 150–200 мс после начала предъявления подсказки (Jonides, 1981) Через 300 мс от начала предъявления возникает противоположный эффект: проигрыш от верной подсказки – торможение возврата (Posner, Cohen, 1984; Posner et al., 1985)
Верная подсказка дает выигрыш, неверная дает проигрыш по сравнению с условием отсутствия подсказки (Jonides, 1981)	Эффект дает только верная подсказка: либо ускорение ответа (Jonides, 1981), либо замедление (Posner, Cohen, 1984), неверная подсказка не дает эффекта (Jonides, 1981)
Ориентировочный эффект зависит от количества верных и неверных подсказок в серии проб (Jonides, 1981)	Ориентировочный эффект не зависит от количества верных и неверных подсказок в серии проб (Jonides, 1981)

Впервые эффект торможения возврата был описан М. Познером и Й. Коэном (Posner, Cohen, 1984) и был интерпретирован ими как эффект, имеющий чисто сенсорную природу (наподобие маскировки).

Однако почти сразу такая интерпретация была отвергнута: так, Э. Мэйлор и Р. Хокки (Maylor, Hockey, 1985) с помощью двух остроумных экспериментов показали, что торможению подвергается не место на сетчатке глаза (как в случае с маскировкой), а место во внешнем пространстве – именно то место, куда непроизвольно было привлечено внимание. Вторая интерпретация, предложенная М. Познером (Posner et al., 1985; Posner, Fan, 2004), обозначила торможение возврата как эффект центрального происхождения, связанный с вниманием. Внимание, непроизвольно привлеченное к какому-либо месту в пространстве, спустя определенное критическое время (около 300 мс) покидает место предыдущего пребывания и при этом как бы получает «запрет» на возвращение в это место в течение определенного времени. Если же цель появится именно там, движение внимания к цели будет более медленным, чем в любое другое место. По мнению М. Познера, предназначение механизма торможения ранее подсказанного места в пространстве диктуется требованиями окружающей среды: внимание должно постоянно сканировать пространство, чтобы не пропустить жизненно важные стимулы. Слишком долгая задержка внимания на одном месте в условиях быстро меняющейся среды может оказаться фатальной. Если же какое-либо событие уже привлекло внимание животного к определенному месту и при этом там больше ничего не происходит, то маловероятно, что там в ближайшее время еще что-то произойдет. В связи с этим внимание не только смещается с данного места, но и исключает его на время из числа приоритетных пространственных позиций.

В настоящее время существует целый ряд теорий, пытающихся объяснить эффект торможения возврата (см.: Уточкин, Фаликман, 2006б). Так, С. Типпер и его коллеги (Tipper, Weaver, 1998; Tipper et al., 1994) считают, что торможение возврата – это частный случай так называемого *отрицательного прайминга*, т. е. действия механизма торможения ответа на *целевой объект*, ранее подлежавший игнорированию в качестве *дистрактора*. В своих экспериментах С. Типпер давал периферическую подсказку в одной из рамок, затем рамки перемещались по экрану, а после их остановки появлялась цель. Торможению подвергалась цель, предъявленная в той рамке, которая была подсказана, хотя она была в новой пространственной позиции. Принадлежность нерелевантного стимула-подсказки и целевого стимула к одному и тому же объекту (рамке), по мнению С. Типпера, и вызывает эффект отрицательного прайминга – торможение возврата.

С точки зрения А. Кастела и его коллег (Castel et al., 2003; Dodd et al., 2003), торможение возврата – это феномен, относящийся

к работе особой пространственной подсистемы рабочей памяти. Так, если последовательно подсказывать несколько позиций, то динамика торможения возврата будет напоминать динамику сохранения материала в кратковременной памяти: каждый более старый след будет вызывать все меньшее торможение, как если бы его эффект стирался под действием последующих. Объем такой «памяти» ограничен – 5–6 элементов. Кроме того, в своем эксперименте А. Кастел, Дж. Прэтт и Ф. Крейк (Castel et al., 2003) в период между подсказкой и целью предлагали решить испытуемым задачу либо на запоминание трех цифр, либо на запоминание направлений трех стрелок. В последнем случае, т. е. при загрузке именно пространственной подсистемы рабочей памяти, торможения возврата не наблюдалось.

Как мы видим, в настоящее время существует достаточно много моделей, по-разному интерпретирующих феномены произвольной ориентировки, в частности, торможение возврата. Тем не менее, между ними существует одно важное сходство: как правило, везде по умолчанию принимается жесткий, определяемый исключительно стимульными условиями характер переработки информации. С целью критического анализа данной позиции обратимся к обзору А. Сэмюэла и Д. Кат (Samuel, Kat, 2004), посвященному эффекту торможения возврата. Проанализировав результаты около 150 экспериментов, выполненных в различных лабораториях, авторы смоделировали динамику данного эффекта. Оказалось, что, начавшись спустя 300 мс после подсказки, торможение длится в зависимости от числа потенциальных позиций цели до 2200–3200 мс. Идея о том, что при таких значениях времени задержки цели ориентировка продолжает оставаться полностью произвольной, выглядит неправдоподобной. Вероятно, так называемая произвольная (экзогенная)^{*} ориентировка в «чистом виде» действует только в небольшом интервале времени с момента предъявления периферического события, а затем к ней примешивается эндогенный (хотя и не обязательно произвольный компонент).

В последние годы получены любопытные данные, свидетельствующие о возможности гибкого управления произвольной ориентировкой со стороны эндогенных процессов. Так, П. Бартоломео и др. (Bartolomeo et al., 2007) обнаружили, что при задержке между подсказкой и целью в 1000 мс динамика ВР значительно зависит от количества верных подсказок, причем независимо от того, осознает испытуемый эту связь или нет. Так, если в серии верных подсказок

* В литературе кроме термина «произвольный» в качестве синонима используется термин «экзогенный», тем самым подчеркивается, что сдвиг внимания вызван только внешним событием – стимулом.

50%, наблюдается типичное торможение возврата; при снижении количества верных подсказок до 20% торможение возврата усиливается, а при увеличении до 80% нивелируется. Еще одно интересное наблюдение сделали Х. Лупианьес и его коллеги (Lupianez et al., 1997; Lupianez et al., 2001): начальная временная граница торможения возврата зависит от требований самой задачи. Если, как в классическом варианте, испытуемому ставится задача на скоростное обнаружение целевого стимула, торможение наступает намного раньше, чем в задаче на различение цели и дистрактора. Х. Лупианьес объясняет это тем, что в первом случае испытуемый принимает установку на быстрое и грубое сканирование зрительного поля, ведь требуется только ответ о наличии/отсутствии цели. Во втором – испытуемый принимает установку на интеграцию информации внутри объекта, т. е. «зацепившись» за определенную область зрительного поля, внимание будет сохранять тенденцию оставаться там, чтобы отслеживать тонкие изменения – только так возможно сложное различение. Кроме того, чем меньше различия между целью и дистрактором, т. е. чем выше ценность второй установки, тем сильнее тенденция сохранять ранее принятую ориентировку. Так, если в качестве цели и дистрактора используются значительно различающиеся по форме буквы М и О, торможение возврата наступает примерно через 700 мс после предъявления подсказки, а если похожие по форме буквы М и N – не наступает вообще (Lupianez et al., 2001). Результаты последнего эксперимента ценны для нас потому, что позволяют строить некоторые предположения о динамике ориентировки в ситуациях обнаружения порогового сигнала – задачах, фактически не рассматриваемых в парадигме подсказки. Существуют также данные о том, что динамика экзогенной ориентировки зависит от количества потенциальных позиций цели на экране и их взаимного расположения (Samuel, Kat, 2004; Schmitt et al., 2001), степени регулярности временного интервала между подсказкой и целью (Tipper, Kingstone, 2003), иными словами, от возможности *прогнозирования* появления цели на основе подсказки. Приведенные данные говорят о том, что, по-видимому, не всегда правомерно говорить, что произвольная пространственная ориентировка всегда определяется только стимульными переменными.

У. Принцметал с соавт. (Prinzmetal et al., 2005) в серии экспериментов показали, что роль произвольного компонента ориентировки существенно возрастает а) в задачах с высокой информативностью подсказки; б) в задачах с установкой на точность ответа в противовес его скорости. Последнее утверждение наряду с данными Х. Лупианьеса и др. (2001) о различении похожих стимулов для нас

особо интересно, так как позволяет строить предположения о том, как может осуществляться ориентировка внимания в традиционных для психофизики задачах обнаружения порогового сигнала. Теоретическое объяснение полученных результатов также весьма важно для нас, поскольку дается в терминах теории обнаружения сигнала, а также модели перцептивных образцов и фактически описывает оптимальную стратегию ориентировки наблюдателя в задаче обнаружения порогового сигнала. Так, произвольная ориентировка работает по принципу «На какой стимул отвечать?», т. е. имеет место *селекции канала*, в то время как произвольная ориентировка нацелена на работу с качеством сенсорного входа, т. е. действует либо механизм *усиления сигнала*, либо, наоборот, *шумоподавления* (Lu, Doshier, 1998; Pashler, 1999; Prinzmetal et al., 2005).

Таким образом, пространственная ориентировка может рассматриваться как фундаментальный компонент сенсорных и перцептивных процессов, выполняющий функцию селективной настройки внимания на потенциальный пространственный источник полезной информации. Пространственная ориентировка может представлять надмодальную систему (Spence et al., 2000) управления поведением и учитывает два типа факторов – стимульные (экзогенная ориентировка) и прошлый опыт (эндогенная ориентировка). Все эти характеристики делают ориентировку потенциально эффективным средством решения сенсорных задач в условиях пространственной неопределенности.

В последние годы наметилась тенденция усматривать проявления активности субъекта даже в тех феноменах, которые ранее объяснялись влиянием исключительно стимульных детерминант. Однако указанная тенденция проявляется в сфере автоматических, произвольно неконтролируемых процессов. Это означает, что если внимание привлекается к чему-то произвольно, то мы имеем дело с процессом реактивным, не допускающим возможности произвольного управления вниманием. По нашему мнению, причина этого состоит в том, что в рамках методики с использованием периферической подсказки испытуемым не дается возможность проявить произвольную активность. Последнее связано с тем, что в инструкции, которую получают испытуемые, ничего не сообщается об информационной функции стимула-подсказки, что способствует скорее его намеренному игнорированию, чем произвольной ориентировке внимания.

Мы предположили, что испытуемые способны произвольно «сопротивляться» экзогенному действию периферической подсказки, если она противоречит его осознанному ожиданию. Например, инструкция предписывает испытуемому ожидать появления

цели справа, а периферическая подсказка – слева. На наш взгляд, интересный методический ход, который позволил бы проверить сформулированное выше предположение, будет состоять в том, чтобы «столкнуть» в одной и той же задаче как факторы, имеющие отношение к произвольному вниманию, так и факторы, связанные с управлением вниманием произвольным. В силу необходимости эмпирической операционализации рассматриваемых нами конструктов конкретные экспериментальные гипотезы нашего исследования будут представлены вслед за описанием методики.

Методика

Испытуемые

В эксперименте участвовали 57 испытуемых, 21 мужчина и 36 женщин, средний возраст – 19 лет.

Аппаратура и стимуляция

Стимуляция готовилась и предъявлялась с помощью программы-конструктора StimMake (авторы – А. Н. Гусев и А. Е. Кремлев). Предъявление стимулов происходило на стандартном VGA-мониторе с частотой обновления 85 Гц.

Стимулы предъявлялись на однородном сером поле. Всего в задачу было включено три типа стимулов: фиксационный экран, подсказка и целевой стимул. Фиксационный экран включал белый крест в центре для фиксации взора и две белые квадратные рамки справа и слева от креста. Стимул-подсказка мог быть центральным, периферическим и «гибридным» (т. е. содержать одновременно центральную и периферическую информацию). Центральная подсказка представляла собой черную стрелку на месте фиксационного креста и указывающую вправо или влево. Периферическая подсказка представляла собой четыре маленьких черных квадрата, окружающих со всех сторон одну из белых рамок. «Гибридная» подсказка напоминала периферическую, однако в ней один из черных квадратов (наиболее близкий к точке фиксации взора) заменялся на стрелку, указывающую либо вправо, либо влево. Если стрелка указывала на ту же рамку, которая была окружена черными фигурами, то такая подсказка называлась *совпадающей* (так как в ней совпадали периферическая и центральная информации). Если стрелка указывала на противоположную рамку, такая подсказка называлась *конфликтной* (так как периферическая и центральная информации противоречили друг другу). Те подсказки, которые содержали только центральную или только периферическую информацию, были обозначены как *нейтральные*. Целевой стимул представлял собой белый круг, который появлялся внутри одной из белых рамок.

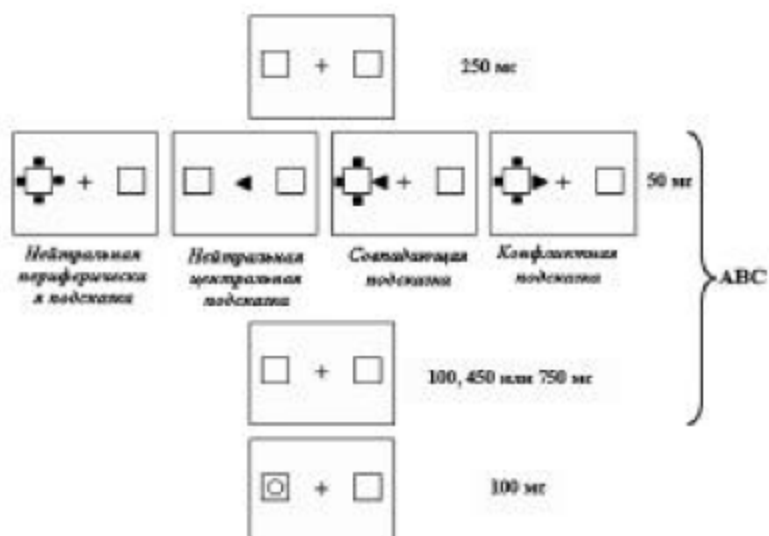


Рис. 1. Временная последовательность предъявления стимулов в типичной пробе, содержащей целевой стимул

Процедура

Испытуемый сидел на расстоянии 69 см от монитора, его голова была фиксирована в подбороднике, ему предлагалось удерживать взор на центре фиксационного креста и не моргать в течение всей экспериментальной пробы (моргать разрешалось в течение межпробного интервала, когда на экране предъявлялся пустое серое поле). По инструкции, от испытуемого требовалась скоростная локализация цели, т. е. он должен был как можно быстрее нажимать на левую кнопку пульта левой рукой, если видел целевой стимул (белый круг) в левой рамке, и на правую кнопку правой рукой, если он появлялся в правой рамке.

Типичная проба, содержащая целевой стимул, начиналась с предъявления фиксационного экрана на 250 мс. Далее следовало предъявление подсказки на 50 мс. Затем вновь следовало предъявление фиксационного экрана на 100, 450 или 750 мс. Сумма постоянного времени предъявления подсказки и переменного времени последующей экспозиции фиксационного экрана составила три значения асинхронии включения стимулов (ABC) – 150, 500 и 800 мс. Целевой стимул предъявлялся на 100 мс, после чего вновь предъявлялся фиксационный экран на 900 мс, в течение которых испытуемый должен был дать ответ. Межпробный интервал составлял 1000 мс.

Если место появления целевого стимула соответствовало подсказке (вне зависимости от того, была ли эта подсказка центральной, периферической или гибридной), то такая подсказка считалась верной, если не соответствовало – такая подсказка считалась неверной. Кроме того, в последовательность экспериментальных проб были введены так называемые пробы-ловушки, в которых предъявлялась подсказка, но не предъявлялась цель.

Проведению основной серии эксперимента предшествовали три тренировочные серии по 24 пробы в каждой. Первая тренировочная серия включала только пробы с нейтральной периферической подсказкой, причем ее *достоверность* (т. е. процент верных подсказок) составляла 50%. Вторая серия состояла только из проб с нейтральной центральной подсказкой с достоверностью 80%, причем в инструкции испытуемому давалась рекомендация следовать указаниям подсказки. Третья тренировочная серия состояла только из проб с гибридными подсказками (см. рисунок 2), причем достоверность периферической информации (локализация подсказки слева или справа) составляла 50%, а достоверность центральной (направление стрелки в сторону подсказки или в противоположную сторону) – 80%; в инструкции испытуемому рекомендовалось ориентироваться на направление стрелки (центральная информация), а не на физическое положение подсказки (периферическая информация). Такая несимметричность была достигнута за счет неравномерного распределения конфликтных и совпадающих подсказок среди четырех комбинаций проб третьей тренировочной серии (см. рисунок 2).

	Верная периферическая	Неверная периферическая	
Верная центральная	40% Совпадающая 	40% Конфликтная 	80%
Неверная центральная	10% Конфликтная 	10% Совпадающая 	20%
	50%	50%	100%

Рис. 2. Типы проб в тренировочных сериях. Полужирным шрифтом выделены значения достоверности подсказок

Основная серия эксперимента включала 800 проб со всеми типами подсказок и всеми значениями ABC (всего 9 вариантов проб), которые предъявлялись в случайном порядке. При этом 5% всех проб составляли пробы-ловушки, а 95% – пробы с целевым стимулом. Достоверность периферической информации составляла 50%, а достоверность центральной – 80%; в инструкции испытуемому особо подчеркивалась необходимость следования центральным подсказкам, т. е. ориентироваться на направление стрелок. Во избежание утомления испытуемого основная серия была разбита на 16 коротких блоков по 50 проб (2,5 минуты), разделенных перерывами длительностью по одной минуте.

Независимыми переменными выступили: тип *периферической* подсказки (три уровня подсказки: «нейтральная», «совпадающая» или «конфликтная») и длительность ABC (три уровня: 150, 500 и 800 мс). Эффекты центральной подсказки самостоятельно не рассматривались. Зависимой переменной явился *выигрыш* во времени реакции (выигрыш ВР) – производный показатель, рассчитанный как разность ВР в пробах с неверными и верными подсказками. Отрицательные значения этой разницы обозначаются нами как *проигрыш*. Последний, в частности, может свидетельствовать о действии механизма *торможения возврата*.

Статистические оценки экспериментальных эффектов осуществлялись в системе SPSS 12.0 с помощью t-критерия Стьюдента и дисперсионного анализа с повторными измерениями.

В соответствии с описанным выше дизайном эксперимента сформулируем основную гипотезу. Если произвольное внимание (ориентировка на направление стрелки в виде эффекта центральной подсказки) влияет на динамику непроизвольного (ориентировка на периферическую подсказку), то:

1. При малой длительности ABC (150 мс) совпадающая подсказка приводит к увеличению выигрыша, а конфликтная – к его уменьшению. Иначе говоря, совпадающая центральная подсказка будет облегчать сдвиг внимания к позиции, подсказанной периферически, а конфликтная, соответственно, препятствовать.

2. При большой длительности ABC (500, 800 мс) совпадающая подсказка приводит к уменьшению проигрыша (снижению эффекта торможения возврата), а конфликтная – к его увеличению. Иначе говоря, если по законам непроизвольного внимания место, подсказанное периферически, подвергается торможению возврата (что выражается в проигрыше), то в этих условиях центральная совпадающая подсказка будет способствовать снижению торможения возврата, а конфликтная подсказка – его усилению.

Результаты

Основные результаты представлены на рисунке 3. Результаты статистической оценки выраженности эффекта подсказки (выигрыша ВР) были получены с помощью одновыборочного t-критерия Стьюдента. При нейтральном условии предъявления периферической подсказки обнаружен стандартный эффект: выигрыш ВР (16 мс) при малой длительности АВС 150 мс; при больших длительностях АВС (500 и 800 мс) наблюдался проигрыш ВР – 12 и 11 мс, соответственно, что является индикатором торможения возврата.

В условии совпадающей подсказки при коротком АВС сохранялся выигрыш ВР (17 мс), а при больших АВС – проигрыш был статистически незначимым ($p > 0,05$).

В условии конфликтной подсказки при коротком АВС выигрыш ВР становился статистически незначимым ($p > 0,05$), а при больших АВС проигрыш значительно увеличивался – 38 и 25 мс, т. е. усиливалось торможение возврата ($p < 0,001$).

Результаты оценки значимости факторных эффектов обнаружили статистически достоверные влияния величины АВС ($F(2,55) = 96,08$; $p < 0,001$) и типа периферической подсказки на выигрыш ($F(2,55) = 23,74$; $p < 0,001$). Данные эффекты оказались достаточно выраженными: 63,2% и 29,8% от общей дисперсии соответственно. Последнее свидетельствует о том, что в проведенном эксперименте доля влияния побочных переменных была крайне не велика.

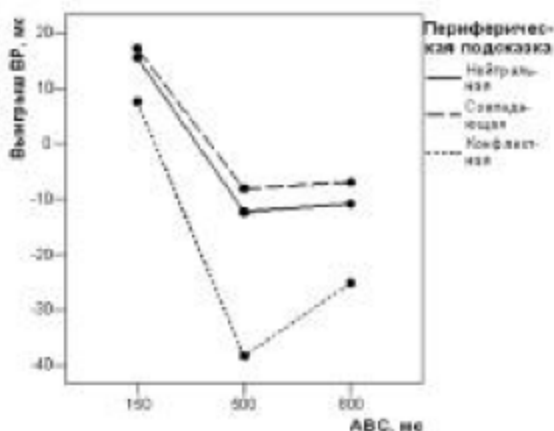


Рис. 3. Динамика зрительной ориентировки при различных типах периферической подсказки. Ось абсцисс – длительность асинхронии включения стимула (АВС) в миллисекундах. Ось ординат – величина выигрыша времени реакции в миллисекундах

Эффект межфакторного взаимодействия также оказался статистически достоверным ($F(4,53) = 7,40; p < 0,001$). Это означает, что величина выигрыша ВР зависит от сочетанного влияния величины АВС и типа подсказки. Как видно на рисунке 1, максимальные различия в выигрышах ВР между условиями конфликтной и нейтральной (и совпадающей) подсказок наблюдались при больших АВС. При АВС=150 мс анализируемые различия между условиями конфликтной и совпадающей подсказок были также значимыми ($t(56) = 17,74; p < 0,05$), а между конфликтной и нейтральной подсказками – статистически недостоверными ($t(56) = 1,71; p > 0,05$). Описанный эффект также оказался весьма весомым и составил 12% от общей дисперсии.

Обсуждение результатов

Задача, которую выполняли испытуемые в настоящем исследовании, относится к классу типичных сенсорных задач на локализацию сигнала в поле зрения. Подобные задачи очень часто используются в психофизике. Как правило, в психофизических исследованиях стараются изолировать испытуемого от влияния ситуационных факторов, уподобляя его идеальному наблюдателю и сосредотачиваясь на изучении роли физических характеристик стимулов. Даже когда в дифференциальной психофизике исследователи делают акцент на переменных субъекта, они стараются максимально исключить влияние ситуационных факторов. Нам представляется важным рассмотреть именно вопрос о влиянии условий решения сенсорной задачи, поскольку они могут порождать включение в процессы обнаружения, различения и опознания сигналов широкого набора самых разных когнитивных операций. Это делает деятельность наблюдателя гораздо более вариативной в смысле использования средств решения сенсорной задачи по сравнению с традиционной психофизической парадигмой, ориентированной на простоту и ясность интерпретаций.

Использованная нами задача скоростной локализации является типичной задачей на различение, поскольку в ней испытуемый должен дифференцировать правое или левое положение целевого стимула. В стандартных психофизических задачах на обнаружение/различение сигналов также используют прием введения информации, создающей у наблюдателя определенную перцептивную готовность и/или готовность к ответу. Например, это достигается с помощью варьирования априорной вероятности появления целевого сигнала, платежных матриц, предоставления истинной или ложной обратной связи об успешности исполнения сенсорной

задачи. При этом предполагается, что испытуемый (как идеальный наблюдатель) произвольно формирует адекватную заданным условиям деятельности стратегию принятия решения. Причем варьируемые условия деятельности строго ограничены, что, в свою очередь, имплицитно связано с сужением стратегии наблюдателя до использования крайне скудного набора характеристик целевого стимула, явно заданных в инструкции. В свою очередь, это предположение ведет к тому, что формирование стратегии принятия решения об обнаружении/различении сенсорных сигналов рассматривается как чисто рациональный процесс. При таком понимании все прочие ситуационные факторы (не учтенные и не обозначенные в инструкции) считаются несущественными как для процесса формирования сенсорного образа, так и для процесса принятия решения.

В нашем случае мы используем более широкий набор условий, определяющих особенности задачи на пространственную локализацию сигнала. Эти условия задают характерные признаки пространственной ориентировки наблюдателя в ситуации высокой неопределенности. Причем не обязательно, чтобы этот процесс ориентировки был произвольным, когда испытуемый по инструкции экспериментатора (или по самоинструкции) осознанно включает заданные признаки ситуации в выработку стратегии принятия решения, адекватной наличной ситуации. Более того, логично предположить, что при высокой пространственной неопределенности может возникать более сложная конструкция, в которой произвольная и произвольные формы ориентировки взаимодействуют.

Обратимся к одному из полученных результатов о влиянии нейтральной периферической подсказки на эффективность пространственной локализации сигнала. Был обнаружен характерный паттерн изменения ВР, появляющийся только при *непроизвольной* ориентировке внимания: ускорение моторного ответа в пробах с верной подсказкой при АВС=150 мс и его замедление при АВС=500 и 800 мс (торможение возврата). Таким образом, в нашем эксперименте мы воспроизвели стандартный результат (см. таблицу 1), который может послужить фоном для дальнейшего сравнительного анализа.

Рассмотрим, как изменяется эффективность пространственной локализации сигнала в более сложных условиях – при включении в структуру пробы совпадающей и конфликтной подсказок. В соответствии с гипотезами настоящего исследования проанализируем влияние этих условий для коротких и длинных АВС по отдельности.

1. Полученные нами результаты показывают, что при малом временном интервале между подсказкой и целевым стимулом (АВС=150 мс) конфликтная подсказка снижает выигрыш. Нам это

представляется закономерным, поскольку она должна препятствовать сдвигу внимания наблюдателя к той позиции, которая подсказана периферически. Вместе с тем вопреки нашей гипотезе совпадающая подсказка не приводит к симметричному увеличению выигрыша. Кроме того, обратим внимание на тот необычный факт, что при коротком интервале центральная информация (направление стрелки при конфликтном условии) способна «вмешиваться» в действие периферической. Подчеркнем, что, согласно литературным данным (таблица 1) действие центральной подсказки обычно проявляется начиная с $ABC=200$ мс и достигает максимальной эффективности к 400 мс. В нашем эксперименте впервые использовалась «гибридная» подсказка, включающая как центральный, так и периферический компоненты, что собственно и позволило нам зафиксировать факт их взаимодействия на раннем этапе пространственной ориентировки.

2. При большой длительности ABC (500, 800 мс) конфликтная подсказка приводит к увеличению проигрыша BP , что согласуется с исходной гипотезой. Этот факт интерпретируется нами следующим образом: 1) эффект периферической подсказки заключается в торможении возврата к соответствующей пространственной позиции; 2) направление стрелки (эффект центральной подсказки) усиливает сдвиг внимания к противоположной позиции.

Обратим внимание на интересный эмпирический факт: при малой и при больших длительностях ABC наблюдаются несимметричные эффекты совпадающей и конфликтной подсказок. Так, если конфликтная подсказка приводит к ожидаемому (согласно нашим гипотезам) изменению выигрыша/проигрыша BP , то совпадающая подсказка не вызывает никаких изменений, т. е. выигрыши и проигрыши не отличаются от нейтрального условия, когда предъявляется только периферическая подсказка. Имеющиеся данные пока не позволяют нам делать какие-либо определенные предположения о природе этого несимметричного эффекта. По-видимому, необходимо повторить полученный результат при изменении стимульных условий, чтобы убедиться в его устойчивом характере.

Подводя итог анализу результатов представленного исследования, еще раз подчеркнем, что разнообразие условий выполнения сенсорной задачи на пространственную локализацию может порождать включение достаточно сложных когнитивных механизмов, связанных с произвольным и непроизвольным вниманием. Когда задачи обнаружения, различения или опознания сенсорных сигналов включены в реальную деятельность реального (а не идеального) наблюдателя, закономерно появляется большое число условий ее выполнения, задающих, в свою очередь, большое число степеней

свободы сенсорного пространства и пространства принятия решений. Из этого непосредственно следует, что сенсорно-перцептивная система должна сформировать и использовать адекватный ситуации набор правил для ограничения избыточных степеней свободы и отбора релевантной информации. В традиции когнитивной психологии такого рода механизм реализует одно из базовых свойств внимания – селекцию (Broadbent, 1954; Канеман, 2006).

ЛИТЕРАТУРА

- Бродбент Д. Е. Установка на стимул и установка на ответ: два вида селективного внимания: Хрестоматия по вниманию / Под ред. А. Н. Леонтьева, А. А. Пузыряя, В. Я. Романова. М., Изд-во Моск. ун-та. 1976. С. 271–281.
- Дормашев Ю. Б., Романов В. Я. Психология внимания. М.: МПСИ, Флинта, 2002.
- Канеман Д. Внимание и усилие. М.: Смысл, 2006.
- Уточкин И. С., Фаликман М. В. Торможение возврата внимания. Ч. 1. Виды и свойства // Психологический журнал. 2006а. Т. 27. № 3. С. 42–48.
- Уточкин И. С., Фаликман М. В. Торможение возврата внимания. Ч. 2. Механизмы. От сенсорной маскировки до стратегической регуляции // Психологический журнал. 2006б. № 4. С. 50–58.
- Фаликман М. В. Общая психология. В 7 т. / Под. ред. Б. С. Братуся. Т. 4. Внимание. М., Академия, 2006.
- Bartolomeo P., Decaix C., Sieroff E. The phenomenology of endogenous orienting // *Consciousness and Cognition*. V. 16. No 1. 2007. P. 144–161.
- Broadbent D. E. The role of auditory localization in attention and memory span // *Journal of Experimental Psychology*. 1954. V. 47. P. 191–196.
- Castel A. D., Pratt J., Craik F. I. M. The role of spatial working memory in inhibition of return: Evidence from divided attention tasks // *Perception and Psychophysics*. 2003. Vol. 65. No 6. P. 970–981.
- Dodd M. D., Castel A., Pratt A. Inhibition of return with rapid serial shifts of attention: Implications for memory and visual search // *Perception and Psychophysics*. 2003. Vol. 65. No 7. P. 1126–1135.
- Fernandez-Duque D., Johnson M. L. Cause and effect theories of attention: the role of conceptual metaphors // *Review of General Psychology*. 2002. Vol. 6. No 2. P. 153–165.
- Jonides J. Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement // Long J. B., Baddeley A. D. (Eds.) *Attention and Performance IX*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum, 1981. P. 187–203.
- Lu Z.-L., Doshier B. A. External noise distinguishes attention mechanisms // *Vision Research*. 1998. Vol. 38. No 9. P. 1183–1198.
- Lupianez J., Milan E. G., Tornay F., Madrid E. & Tudela P. Does IOR occur in discrimination tasks? Yes, it does, but later // *Perception and Psychophysics*. 1997. Vol. 59. P. 1241–1254.

- Lupianez J., Milliken B., Solano C., Weaver B. On the strategic modulation of the time course of facilitation and inhibition of return // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2001. Vol. 54A. No 3. P. 753–773.
- Maylor E. A., Hockey G. R. J. Inhibitory component of externally controlled covert orienting in visual space // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1985. Vol. 11. No 6. P. 777–787.
- Pashler H. *Psychology of attention*. MIT Press, 1999.
- Posner M. I. Orienting of attention // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1980. Vol. 32. P. 3–25.
- Posner M. I. Structures and functions of selective attention // *Boll T., Bryant B.* (Eds.) *Master Lectures in Clinical Neuropsychology and Brain Function: Research, Measurement, and Practice*. American Psychological Association, 1988. P. 171–202.
- Posner M. I., Cohen Y. Components of visual orienting // *Bouma H., Bouwhuis D. G.* (Eds.) *Attention and Performance X*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum, 1984. P. 531–556.
- Posner M. I., Fan J. Attention as an organ system // *Pomerantz J.* (Ed.) *Neurobiology of perception and communication: From synapse to society. The 4th De Lange Conference*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004.
- Posner M. I., Nissen M. J., Ogden W. C. Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location // *Pick H. L., Saltzman I. J.* (Eds.) *Modes of perceiving and processing information*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum, 1978. P. 160–174.
- Posner M. I., Rafal R. D., Choate L. S., Vaughan J. Inhibition of return: neural basis and function // *Cognitive Neuropsychology*. 1985. Vol. 2. P. 211–228.
- Prinzmetal W., McCool C., Park S. Attention: reaction time and accuracy reveal different mechanisms // *Journal of Experimental Psychology: General*. 2005. Vol. 134. No 1. P. 73–92.
- Samuel A. G., Kat D. Inhibition of return: A graphical meta-analysis of its time course and an empirical test of its temporal and spatial properties // *Psychonomic Bulletin and Review*. 2003. Vol. 10. No 4. P. 897–906.
- Schmitt M. J. M., Postma A., De Haan E. Cross-modal exogenous attention and distance effects in vision and hearing // *European Journal of Cognitive Psychology*. 2001. Vol. 13. No 3. P. 343–368.
- Spence C., Lloyd D., McGlone F., Nicholls M. E. R., Driver J. Inhibition of return is supramodal: a demonstration between all possible pairings of vision, touch, and audition // *Experimental Brain Research*. 2000. Vol. 134. P. 42–48.
- Tipper S. P., Weaver B. The medium of attention: location-based, object-centered, or scene-based? // *Wright R.* (Ed.) *Visual attention*. Oxford, England: Oxford University Press, 1998. P. 77–107.
- Tipper S. P., Weaver B., Jerreat L. M., Burak A. L. Object-based and environment-based inhibition of return of visual attention // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1994. Vol. 20. No 3. P. 478–499.

ГЛАВА 5 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ СЕНСОРНОГО РАЗЛИЧЕНИЯ

Использование методов сенсорной психофизики при изучении зрения основано в самой общей форме на модельном представлении зрительной системы в виде черного ящика. На вход его подаются различные тестовые изображения, а выходом служит реакция испытуемого (например, «вижу» – «не вижу»). Содержательный интерес представляют попытки детализировать внутреннюю структуру такого черного ящика и соотнести полученные результаты с нейрофизиологическими данными.

В современной сенсорной психофизиологии широко распространено представление о зрительной системе как о совокупности параллельно работающих подсистем – каналов. Обычно считается, что каналы работают независимо или как-то взаимодействуют (например, по принципу латерального торможения). Принцип многоканальности имеет давнюю историю. Классическим примером каналов является колбочковый аппарат сетчатки. Идею о каналах как о функционально независимых подсистемах, каждая из которых «настроена» на свой специфический набор стимулов, с успехом применили для анализа пространственного зрения Кэмпбелл и Робсон (Campbell, Robson, 1968). Ими был получен ряд экспериментальных фактов, связанных с обнаружением и различением низкоконтрастных изображений. Эти эксперименты легко интерпретировать, предположив, что в зрительной системе имеется набор каналов, избирательно настроенных на достаточно узкие диапазоны пространственных частот. Такие каналы могут, например, образовывать нейроны с рецептивными полями одинаковой формы, отклик которых будет максимальным при предъявлении пространственных решеток в определенном частотном диапазоне.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 06-06-80390а и 09-07-00512а).

К настоящему времени разработаны психофизические методы, позволяющие измерять пространственно-частотные характеристики отдельных каналов, что служит основой для построения многоканальных моделей зрительного различения. Считается, что такие модели лучше, чем традиционные одноканальные модели, объясняют экспериментальные результаты, связанные с обнаружением простых и составных, периодических и аperiodических изображений (Graham et al., 1971; Sachs et al., 1971; Quick et al., 1978). Главной задачей остается поиск доказательств реального существования каналов и определение их характеристик. Однако до сих пор ни одна из множества известных многоканальных моделей зрения не является общепринятой.

Что же означают слова «реально существует» применительно к таким понятиям, как канал, анализатор, механизм и т. п., свойства которых могут быть определены психофизическими методами? Поиск нейронных структур, «ответственных» за функционирование каждого канала представляет нетривиальную задачу. В работе одного канала может одновременно участвовать множество нейронов, а одна и та же нейронная структура может обеспечивать работу нескольких функционально независимых подсистем зрительного анализатора (подобно тому, как процессор ЭВМ параллельно поддерживает множество вычислительных процессов).

Оставаясь в рамках чистой психофизики, каналы можно рассматривать, как удобное функциональное описание, позволяющее с единых позиций взглянуть на большой массив накопленных данных. Но и здесь пока не удалось создать общую многоканальную модель пространственного зрения, охватывающую большинство зрительных феноменов, которым свойственна пространственно-частотная избирательность. Исследователи не смогли подобрать набор простых стимулов такой специфической формы, чтобы каждый канал был избирательно чувствителен именно к «своему» стимулу, а вся система в целом могла достаточно точно предсказать реакцию зрительной системы на предъявление произвольного составного стимула.

В психофизиологической литературе представлен огромный эмпирический материал, для интерпретации которого предложено множество традиционно противопоставляемых друг другу моделей (см. обзоры (Sekuler, 1974; Braddick et al., 1978; DeValois et al., 1980; Julesz et al., 1981)). Попытка систематического описания и анализа проблемы была предпринята в монографии А. Д. Логвиненко (Логвиненко, 1985). Там, в частности, показано, что многие модели, не совместимые с точки зрения их авторов, на самом деле оказыва-

ются математически эквивалентными, и могут одинаково хорошо объяснять экспериментальные результаты. С формальной точки зрения противоречий между ними нет, а имеющиеся проблемы является следствием терминологической путаницы. В одни и те же понятия разные авторы вкладывают различный смысл. Решение многих из таких «проблем» требует не столько экспериментально-го исследования, сколько строгой формализованной постановки исходной задачи.

В данной работе задача моделирования процессов зрительного обнаружения и различения рассматривается с более общей, геометрической точки зрения. Предлагаемый формализм описывает широкий класс функциональных моделей зрительной системы для различных экспериментальных ситуаций. Оказывается, что многим общепринятым психофизическим понятиям соответствуют формальные структуры многомерной геометрии. Удастся сформулировать общие условия, выполнение которых гарантирует возможность построения большинства известных моделей обнаружения. Естественную геометрическую интерпретацию получает и само понятие канала.

Попытки применить геометрическую терминологию для интерпретации результатов психофизических экспериментов повторяются уже больше ста лет с завидной регулярностью. Особенно плодотворным этот подход оказался при исследовании восприятия цвета. Здесь стараниями Гельмгольца, Шредингера (одного из основоположников квантовой механики) и их последователей удалось построить строгую аксиоматическую теорию. Притягательность геометрической интерпретации объясняется не только наглядностью, но и возможностью как бы «вынести за скобки» те специфические наборы тестовых стимулов, которые используются в конкретных экспериментальных исследованиях, и попытаться выявить инвариантные структуры, характеризующие саму сенсорную систему и не зависящие от методики эксперимента.

Ограничимся широким классом экспериментов, в которых испытуемому предъявляется (обычно на экране монитора) некоторое сложное изображение, являющееся взвешенной суммой (т. е. линейной комбинацией) определенного набора базовых стимулов. В качестве таковых могут выступать периодические изображения с различным яркостным профилем («решетки»), а также полосы, края и т. п. Эти стимулы играют роль «базиса». Модель должна правильно предсказывать реакцию зрительной системы в зависимости от выбора весовых коэффициентов. Геометрическая интерпретация, не связанная с выбором базиса, позволяет создавать описание зрительной системы, не зависящее от используемого стимульного материала.

Однако возникает вопрос: геометрия какого пространства должна изучаться? Например, можно интерпретировать работу испытуемого, как наделение *пространства стимулов* некоторой геометрической структурой. В тех случаях, когда используемые в экспериментах базовые стимулы описываются функциями (зависимость интенсивности от координат на плоскости, времени, длины волны и т. п.), это пространство допустимо считать линейным векторным пространством. Для его элементов (или векторов) должны быть определены удовлетворяющие определенным аксиомам операции сложения и умножения на число, что естественно выполняется для функций. В пространстве стимулов результаты психофизических экспериментов представимы в терминах некоторой метрической структуры, обусловленной различной степенью субъективной близости предъявленных стимулов. В дальнейшем именно такой подход будет использоваться в данной работе.

Отметим, что часть авторов предполагает существование и так называемого *сенсорного пространства*, элементы которого соответствуют каждому предъявляемому стимулу (или группе стимулов). Часто сторонники этого подхода автоматически считают сенсорное пространство линейным векторным пространством, оставляя в стороне вопрос о том, насколько оправданно это предположение. Корректное определение операций сложения и умножения на число в сенсорном пространстве представляет нетривиальную задачу (хотя, например, для цветового пространства (Krantz, 1975) эта задача была корректно решена). Далее, обычно пытаются оценить размерность сенсорного пространства, наделить его более или менее произвольно какой-либо нормой, метрикой, и т. п.

Какая же геометрическая парадигма оптимально подходит для корректного описания задач психофизического различения? Известны подходы, использующие *дифференциальную геометрию* и *выпуклый анализ*.

Первый подход распространен пока шире (вероятно, в силу того, что соответствующий математический аппарат хорошо известен и активно используется в теоретической физике). Например, существует целое научное направление, наделяющее цветовое пространство геометрией Римана. Аксиоматически вводятся различные линейные элементы, вычисляется кривизна, определяются геодезические, вычисляются расстояния между точками пространства и т. п.

Однако, как показывает анализ основных предположений, на которых базируется этот подход, аксиомы римановой геометрии являются слишком сильными и не согласуются с экспериментальными данными. Соответственно, ряд теоретических выводов, характерных

для моделей этого класса, на самом деле является следствием неявных гипотез о процессе зрительного различения, не подкрепленных результатами экспериментов. Далее будет показано, что более корректным здесь является использование геометрии Финслера (Рунд, 1981), являющейся обобщением геометрии Римана.

Другой подход, использующий методы выпуклого анализа, позволяет во многих случаях явно соотнести известные психофизические понятия с применяемыми математическими конструкциями, и, казалось бы, должен быть более наглядным. Однако здесь имеется известная трудность. Аппарат выпуклого анализа применяется, в основном, в математической экономике и теории оптимизации. Соответствующая литература написана на очень высоком математическом уровне, что сильно затрудняет понимание и использование психологами и психофизиологами. Ситуация напоминает ту, которая сложилась в 1943 году, когда математик Н. Винер опубликовал результаты своих исследований в области статистической теории связи. Его небольшую книжку в желтой обложке инженеры назвали «желтой опасностью», так как с трудом могли ее понять. Понадобился труд многих авторов, чтобы найти характерный для современных учебников необходимый компромисс между математической строгостью и доступностью изложения.

Данная работа является попыткой изложить основные понятия выпуклой геометрии так, чтобы их могли использовать в своей работе практические исследователи. Для наглядности изложения везде опущены строгие формулировки теорем и доказательства, которые заинтересованный читатель может найти в обзоре (Июффе, Тихомиров, 1968), а также в монографиях (Рокафеллар, 1973; Юффе, Тихомиров, 1974). Для удобства читателя ключевые для данной модели термины при первом упоминании выделены курсивом.

—

Начнем с необходимых обозначений. Будем считать, что стимул задан в виде *функции интенсивности* $s = s(\mathbf{x})$ зависящей от некоторого вектора $\mathbf{x} \in \mathbb{X}$. Его компонентами могут быть, например, две пространственные координаты и время, а также длина волны, если исследуется цветовое пространство (в этом случае $\mathbb{X} = \mathbb{R}^4$). Будем предполагать, что множество допустимых функций интенсивности принадлежит *вещественному линейному топологическому пространству* \mathbb{S} (Канторович, Акилов, 1984; Робертсон, Робертсон, 1967; Шефер, 1971): $s(\mathbf{x}) \in \mathbb{S}$.

Далее будет рассматриваться класс психофизических экспериментов, в которых наблюдатель должен обнаружить *тестовый стимул* s на заданном (не обязательно однородном) фоне s_b . Итак,

наблюдателю предъявляется составной стимул $s_b + s$. Обозначим через $S_b \subset S$ множество подпороговых стимулов, не отличаеваемых наблюдателем от s_b (т.е. S_b зависит от выбора s_b). В дальнейшем для упрощения записи мы часто будем обозначать подпороговое множество просто S в тех случаях, когда фоновый стимул фиксирован.

Если наблюдатель не может обнаружить предъявленный стимул, то он не обнаружит и аналогичный стимул, но меньшей интенсивности. Это означает, что множество S является поглощающим:

$$\forall s \in S \exists \lambda_0 > 0 : \lambda^{-1}s \in S \quad \forall \lambda > \lambda_0 \quad (1)$$

Множество S считается эмпирически заданным, т.е. предполагается, что для любого стимула можно выяснить опытным путем, принадлежит ли он этому множеству. На самом деле, корректная идентификация подпорогового множества тесно связано с принимаемым операциональным определением порога. Изменяя пороговое значение, можно получить набор вложенных подпороговых множеств. Этот круг вопросов подробно рассматривается в работах (Dzhafarov, Colonius, 1999; 2001).

Модель зрительного обнаружения должна аналитически определять множество S , действуя, как бинарный классификатор на пространстве стимулов. Обычно для этого используется так называемый пороговый функционал $F : S \rightarrow \mathbb{R}$. Считается, что наблюдатель не может обнаружить предъявляемый стимул s , если $F[s] \leq \epsilon$. Значение порога ϵ всегда можно выбрать равным единице путем соответствующей нормировки $F[s]$. Таким образом,

$$S = \{s \in S \mid F[s] \leq 1\} \quad (2)$$

т.е. S – множество всех тех стимулов s , для которых $F[s]$ меньше либо равно порогу.

Каждой модели соответствует тот или иной способ формализованного представления порогового функционала. Далее мы покажем, что практически все используемые на сегодняшний день модели обнаружения и различения допускают формулировку в рамках предлагаемого формализма. При этом модели будут называться психофизически эквивалентными, если они задают одно и то же подпороговое множество S .

Зрительный анализатор можно условно разделить на два блока: линейный препроцессор, осуществляющий предварительную обработку сигнала и представление его в удобной для принятия решения форме, и собственно блок принятия решения (Логвиненко, 1985). Формально это записывается следующим образом: Пусть S – вещественное линейное топологическое пространство с элементами $\tilde{s} \in S$, и задан линейный непрерывный оператор $\Psi : S \rightarrow S$, соответствующий препроцессору: $\Psi[s] = \tilde{s}$. На пространстве S

задается решающий функционал $\mathbf{G} : \tilde{\mathbb{S}} \rightarrow \mathbb{R}$. Тогда $\mathbf{F}[s] = \mathbf{G}[\Psi[s]]$ и $\mathcal{S} = \left\{ s \in \mathbb{S} \mid \mathbf{G}[\Psi[s]] \leq 1 \right\}$ (3)

В так называемых одноканальных моделях обнаружения считается, что выходом линейного препроцессора служит двумерный массив однотипных элементов. Если использовать физиологическую аналогию, то это могут быть нейроны с рецептивными полями одинаковой формы, отличающиеся только пространственным расположением.

Простейшая одноканальная модель основана на предположении, что стимул обнаруживается наблюдателем, если пиковое значение сигнала на выходе канала превышает порог (Campbell et al., 1969; Limb et al., 1977; Roufs, 1972; Kelly, 1971). Пороговый функционал в этом случае имеет вид

$$\mathbf{F}[s] = \sup(\Psi[s(x)]) \quad (4)$$

Усложняя правило принятия решений, заменяющее операцию (4), допустимо рассматривать более широкий класс одноканальных моделей:

$$\mathbf{F}[s] = \left[\int_{\mathbb{X}} |\Psi[s(x)]|^\alpha dx \right]^{1/\alpha} \quad (\alpha \geq 1) \quad (5)$$

При $\alpha \rightarrow \infty$ пороговый функционал (5) сводится к (4). Если $\alpha = 2$, то получается так называемый «энергетический детектор», применявшийся в качестве модели обнаружения динамически меняющихся изображений (Rashbass, 1970; Watson et al., 1977; Koenderink et al., 1978). К такой же модели, но с $\alpha = 3 + 5$ приходят авторы многих работ, связанных с исследованием как пространственных (Quick et al., 1978; Mostafavi et al., 1976; Wilson et al., 1979), так и временных (Rashbass, 1976; Watson, 1979) свойств зрения.

Согласно многоканальной концепции в зрительной системе имеется множество независимых каналов. В простейшем случае можно считать, что стимул s обнаруживается наблюдателем, если отклик хотя бы одного канала превышает пороговый уровень (Campbell, Robson, 1968; Sachs et al., 1971; Sekuler, 1974; Robson, 1980; Graham, 1980; 1981).

Пусть каждому каналу поставлен в соответствие свой пороговый функционал $\mathbf{F}_j[s]$. Стимул не обнаруживается системой в целом, если реакция каждого канала меньше порогового значения. Тогда пороговый функционал для всей системы может быть выражен через пороговые функционалы отдельных каналов:

$$\mathbf{F}[s] = \sup_j \mathbf{F}_j[s] \quad (6)$$

Ему соответствует подпороговое множество

$$\mathcal{S} = \left\{ s \in \mathbb{S} \mid \sup_j \mathbf{F}_j[s] \leq 1 \right\} \quad (7)$$

Чаще всего предполагается, что каналы обладают свойством *линейности*: реакция канала на сумму нескольких стимулов равна сумме реакций на каждый из них, изменение интенсивности стимула вызывает такое же изменение отклика канала (Thomas, 1970; Quick et al., 1975). Используя физиологическую метафору, можно проводить аналогию между таким каналом и одиночным нейроном. Отклик линейного канала записывается в виде

$$F_h[s] = \int_x s(x)h(x)dx \quad (8)$$

где $h(x)$ – так называемая *весовая функция* канала.

С формальной точки зрения подобные каналы являются *линейными функционалами*. Пусть задана пара вещественных линейных топологических пространств \mathbb{S} и \mathbb{H} , и определена *билинейная форма* $\langle s, h \rangle \in \mathbb{R}$ на $\mathbb{S} \times \mathbb{H}$ ($s \in \mathbb{S}$, $h \in \mathbb{H}$), удовлетворяющая для любых $s_1, s_2 \in \mathbb{S}$, $h_1, h_2 \in \mathbb{H}$, $\lambda_1, \lambda_2, \eta_1, \eta_2 \in \mathbb{R}$ условиям линейности:

$$\begin{aligned} \langle \lambda_1 s_1 + \lambda_2 s_2, h \rangle &= \lambda_1 \langle s_1, h \rangle + \lambda_2 \langle s_2, h \rangle \\ \langle s, \eta_1 h_1 + \eta_2 h_2 \rangle &= \eta_1 \langle s, h_1 \rangle + \eta_2 \langle s, h_2 \rangle \end{aligned}$$

Будем также считать, что билинейная форма $\langle s, h \rangle$ удовлетворяет *аксиомам отделимости*: если $\forall s \in \mathbb{S} : \langle s, h \rangle = 0 \Rightarrow h = 0$, если $\forall h \in \mathbb{H} : \langle s, h \rangle = 0 \Rightarrow s = 0$. Тогда говорят, что эта билинейная форма приводит пространства \mathbb{S} и \mathbb{H} в *двойственность*. Элементы пространства \mathbb{H} являются линейными функционалами, заданными на \mathbb{S} , причем каждый функционал $h \in \mathbb{H}$ определяет *линейное отображение* $s \rightarrow \langle s, h \rangle$.

Легко проверить, что выражение (8), задает билинейную форму с требуемыми свойствами:

$$\langle s, h \rangle = \int_x s(x)h(x)dx \quad (9)$$

Итак, пусть $F_j[s] = \langle s, h_j \rangle$ причем все используемые в модели линейные функционалы h_j образуют некоторое заданное множество: $h_j \in H \subset \mathbb{H}$. (Отметим, что рассматриваемый далее формализм допускает и бесконечное множество H .) В виду важности этой модели для дальнейшего изложения, будем ее называть *канонической моделью*. Выражение (6) для порогового функционала в этом случае принимает следующий вид:

$$F[s] = \sup_h \langle s, h \rangle, \text{ где } h \in H \quad (10)$$

В выпуклом анализе такой функционал обычно называется *опорной функцией* множества H . Он однозначно задает, в соответствии с (7), подпороговое множество S :

$$S = \left\{ s \in \mathbb{S} \mid \sup_h \langle s, h \rangle \leq 1 \quad (h \in H) \right\} \quad (11)$$

Определенное таким образом множество S называется *полярной* множества H и обозначается $S = H^\circ$.

Отклики множества каналов в процессе обнаружения могут комбинироваться зрительной системой и более сложным образом. В частности, широко распространена так называемая «векторная» модель (Quick et al., 1978; Quick, 1974; Graham, 1977; Graham et al., 1978; Robson et al., 1981; Watson, 1982; Graham et al., 1987; Fleck, 1989) с линейными каналами и пороговым функционалом следующего вида:

$$F[s] = \left\{ \sum_{j=1}^N \left| \langle s, h_j \rangle \right|^\alpha \right\}^{1/\alpha} \quad (\alpha \geq 1) \quad (12)$$

Здесь N – число каналов. Такое выражение для порогового функционала допускает различную содержательную интерпретацию (Thomas et al., 1979; Wilson et al., 1984; Thomas, 1985). В пределе при $\alpha \rightarrow \infty$ оно сводится к (10).

Отметим, что формально пороговый функционал (12) является частным случаем (3), если S – конечномерное подпространство, т. е. $S = \mathbb{R}^N$. Это является еще одной иллюстрацией условности деления моделей на одноканальные и многоканальные.

Мы рассмотрели в общих чертах практически все существующие в литературе и традиционно противопоставляемые одноканальные и многоканальные модели. Ряд авторов считает, что каналы избирательно «настроены» на определенный размер элементов изображения (Thomas, 1970; MacLeod et al., 1974), т. е. принципиально являются широкополосными. Однако, модель с относительно узкополосными каналами и решающим правилом типа (12) с тем же успехом пригодна для объяснения экспериментальных данных, как и модель с широкополосными каналами и пиковым решающим правилом (Graham, 1977; 1980; King-Smith et al., 1975). Показано также, что на основании одних и тех же экспериментальных данных, но используя в модели разные решающие правила, можно по-разному вычислять весовые функции канала (Watson, 1982). Обсуждение этих вопросов вылилось в обширную дискуссию (Sekuler, 1974; DeValois et al., 1980; Julesz et al., 1981; Graham, 1980; 1981; 1985), которая продолжается до сих пор (см., например, обзор в работе Логвиненко (Logvinenko, 2003)).

Итак, полученные при разных предположениях модели оказываются психофизически эквивалентными, так как определяют одно и то же подпороговое множество. В то же время, информация о его форме – это все, что можно на самом деле извлечь из психофизического эксперимента. Поэтому сформулируем основную проблему функционального моделирования зрительного анализатора

следующим образом: какими геометрическими свойствами должно обладать подпороговое множество для того, чтобы та или иная модель обнаружения из заданного класса могла быть построена?

Непосредственно можно проверить, что рассматривавшиеся ранее пороговые функционалы (4), (5), (10), (12) обладают следующими двумя свойствами:

Положительная однородность: $\forall \lambda > 0 : \mathbf{F}[\lambda \mathbf{s}] = \lambda \mathbf{F}[\mathbf{s}]$

Субаддитивность: $\forall \mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2 \in \mathbb{S} : \mathbf{F}[\mathbf{s}_1 + \mathbf{s}_2] \leq \mathbf{F}[\mathbf{s}_1] + \mathbf{F}[\mathbf{s}_2]$

Положительно однородные, субаддитивные функционалы будем называть *калибровочными функциями* и использовать для них специальное обозначение $\mathbf{K}[\mathbf{s}]$. На самом деле, для всех рассмотренных выше пороговых функционалов выполняется более сильное условие однородности $\forall \lambda : \mathbf{F}[\lambda \mathbf{s}] = |\lambda| \mathbf{F}[\mathbf{s}]$. Однородная калибровочная функция называется *полуноормой*.

Калибровочные функции принадлежат к более широкому классу *выпуклых функций*, для которых выполняется *неравенство Иенсена* $\mathbf{F}[\lambda_1 \mathbf{s}_1 + \lambda_2 \mathbf{s}_2] \leq \lambda_1 \mathbf{F}[\mathbf{s}_1] + \lambda_2 \mathbf{F}[\mathbf{s}_2]$ для любых $\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2 \in \mathbb{S}$ и $\lambda_1, \lambda_2 \in [0, 1]$, $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$.

Каждая калибровочная функция $\mathbf{K}[\mathbf{s}]$ однозначно определяет (как и в (2)) подпороговое множество:

$$\mathbf{S} = \{ \mathbf{s} \in \mathbb{S} \mid \mathbf{K}[\mathbf{s}] \leq 1 \} \quad (13)$$

Очевидно, что для любого \mathbf{s} стимул $\mathbf{s}/\mathbf{K}[\mathbf{s}]$ будет пороговым: $\mathbf{K}[\mathbf{s}/\mathbf{K}[\mathbf{s}]] = \mathbf{K}[\mathbf{s}]/\mathbf{K}[\mathbf{s}] = 1$.

Еще раз напомним, что на самом деле калибровочная функция естественным образом зависит от выбора фонового стимула \mathbf{s}_b , и для упрощения используется запись $\mathbf{K}_b[\mathbf{s}] = \mathbf{K}[\mathbf{s}]$.

Верно и обратное: любому, содержащему нулевой элемент, множеству \mathbf{S} можно поставить в соответствие некоторую специальную калибровочную функцию – так называемый *функционал Минковского*:

$$\mu[\mathbf{s} \mid \mathbf{S}] = \begin{cases} 0; & | \mathbf{s} = 0 \\ \infty; & | \mathbf{s} \neq 0, \forall \lambda > 0 : \lambda^{-1} \mathbf{s} \in \mathbf{S} \\ \inf(\lambda > 0 \mid \lambda^{-1} \mathbf{s} \in \mathbf{S}); & | \mathbf{s} \neq 0 \end{cases} \quad (14)$$

Легко доказать, что этот функционал обладает требуемым свойством положительной однородности.

С формальной точки зрения один из психофизических методов идентификации подпорогового множества – *метод установки* –

как раз и сводится к использованию функционала Минковского. Наблюдателю предъявляется стимул, интенсивность которого он должен установить на пороговом уровне. Величина, обратная пороговой интенсивности и называемая в психофизике *чувствительностью*, равна $\mu[s_0 | \mathcal{S}]$, где s_0 – стимул с единичной физической интенсивностью.

Мы покажем далее, что субаддитивным калибровочным функциям всегда соответствуют *выпуклые множества* \mathcal{S} . И обратно, выпуклость \mathcal{S} гарантирует субаддитивность функционала Минковского.

Предварительно дадим основные определения. *Отрезком*, соединяющим элементы $s_1, s_2 \in \mathbb{S}$, называется множество элементов $s \in \mathbb{S}$ таких, что $s = \lambda_1 s_1 + \lambda_2 s_2$, где $\lambda_1, \lambda_2 \in [0, 1]$, $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$. При этом, если $\lambda_1, \lambda_2 \neq 0$, то s является *внутренней точкой* отрезка. Множество \mathcal{S} называется *выпуклым*, если оно содержит отрезок, соединяющий любые два его элемента. Легко показать, что если имеется произвольный набор элементов выпуклого множества $s_i \in \mathcal{S}$, то и любая их *выпуклая комбинация* $s = \sum \lambda_i s_i$ (где $\sum \lambda_i = 1$, $\lambda_i \in [0, 1]$) также является элементом этого множества: $s \stackrel{i}{=} \sum \lambda_i s_i \in \mathcal{S}$.

Покажем, что множество \mathcal{S} , определяемое (13), выпукло, т. е. если $s_1, s_2 \in \mathcal{S}$, то для любых $\lambda_1, \lambda_2 \in [0, 1]$ таких, что $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$, выполняется условие $s = \lambda_1 s_1 + \lambda_2 s_2 \in \mathcal{S}$. Действительно, $\mathbf{K}[\lambda_1 s_1 + \lambda_2 s_2] \leq \mathbf{K}[\lambda_1 s_1] + \mathbf{K}[\lambda_2 s_2] = \lambda_1 \mathbf{K}[s_1] + \lambda_2 \mathbf{K}[s_2]$. Но $\mathbf{K}[s_1] \leq 1$ и $\mathbf{K}[s_2] \leq 1$, поэтому $\mathbf{K}[\lambda_1 s_1 + \lambda_2 s_2] \leq \lambda_1 + \lambda_2 = 1$.

Как уже отмечалось, пороговые функционалы большинства использовавшихся в зрительной психофизике моделей обнаружения являются калибровочными функциями, и им должны соответствовать выпуклые подпороговые множества. Таким образом, выпуклость подпорогового множества является *необходимым* условием для построения модели из рассматриваемого класса. Если же удастся подобрать такие подпороговые стимулы, что их выпуклая комбинация окажется надпороговой и обнаруживается наблюдателем, то это условие не будет выполняться. В этом случае практически все известные психофизические модели обнаружения окажутся несостоятельными! Отсюда следует, что выпуклость является фундаментальным геометрическим свойством таких моделей, и ее экспериментальной проверке необходимо уделить особое внимание (Mullins, 1978; Дубровский, 1984; Dubrovsky, Logvinenko, 1984; Логвиненко, 1985; Logvinenko, 1993; 1995; 1996).

В терминах психофизического эксперимента гипотеза о выпуклости подпорогового множества \mathcal{S}_b означает, что если испы-

тупеый не может отличить от s_b составные стимулы $s_b + s$ и $s_b + s'$, то и любые стимулы вида $s_b + (1 - \lambda)s + \lambda s'$ (где $\lambda \in [0, 1]$) отличить от s_b он также не сможет. Для большей наглядности это утверждение можно сформулировать иначе: Если испытуемый не отличает от s_b некоторый стимул $s_b + s$, а также стимул с «добавкой» $s_b + s + \Delta s$, то он не сможет отличить и все «промежуточные» стимулы $s_b + s + \lambda \Delta s$ ($\lambda \in [0, 1]$). Действительно, $s_b + (1 - \lambda)s + \lambda s' = s_b + s + \lambda(s' - s) = s_b + s + \lambda \Delta s$.

Допустим, что в эксперименте получено выпуклое подпороговое множество. Какой из моделей следует тогда отдать предпочтение? Мы покажем, что в этом случае всегда можно построить каноническую многоканальную модель (10) с линейными функционалами и пиковым решающим правилом. Кроме того, будут разработаны методы, позволяющие находить психофизически эквивалентное каноническое представление для моделей с различными пороговыми функционалами. По сути дела, это решает проблему выбора и сравнения моделей обнаружения.

С геометрической точки зрения задание любой многоканальной модели с пиковым решающим правилом сводится к представлению подпорогового множества в виде пересечения множеств заданного типа. Действительно, каждому каналу можно поставить в соответствие пороговый функционал $F_j[s]$ и множество S_j такое, что $s \in S_j$, если $F_j[s] \leq 1$. Зрительная система не может обнаружить стимул s при условии, что на него не реагирует ни один из каналов, т. е. $\forall j : s \in S_j$, так что $S = \bigcap_j S_j$.

Каждому линейному функционалу $s \rightarrow \langle s, h \rangle$ соответствует гиперплоскость $\{s \in S \mid \langle s, h \rangle = 1\}$, а все точки, лежащие по одну сторону от нее, образуют полупространство. Таким образом, канонической модели (10) соответствует представление подпорогового множества в виде пересечения полупространств

$$S = \bigcap_{h \in H} S_h \quad \text{где} \quad S_h = \{s \in S \mid \langle s, h \rangle \leq 1\} \quad (15)$$

Пересечение произвольных выпуклых множеств (в том числе и полупространств) – выпукло, что еще раз доказывает необходимость выпуклости подпорогового множества для построения канонической модели. Только в этом случае множество S может быть полярной (11) некоторого множества линейных функционалов H . Таким образом, полярна всегда обладает свойством выпуклости.

Если в зрительной системе действительно имеется некоторое конечное число каналов N , т. е. множество H содержит конечное число элементов, то образованное пересечением конечного числа

полупространств подпороговое множество \mathcal{S} является обобщенным выпуклым *многогранником* (вообще говоря, неограниченным). Каждая грань его лежит в гиперплоскости, задаваемой одним из линейных функционалов $s \rightarrow \langle s, h_j \rangle$ где $h_j \in \mathbf{H}$ ($j = 1, 2, \dots, N$).

Докажем теперь, что выпуклость множества \mathcal{S} является и *достаточным* условием для возможности построения канонической многоканальной модели. Действительно, каждому подпороговому стимулу $s \in \mathcal{S}$ можно поставить в соответствие множество таких линейных функционалов $h \in \mathbf{H}$, для которых $\langle s, h \rangle \leq 1$. Пересечение всех таких множеств образует полярю множества \mathcal{S} (ср. с (11)):

$$\mathcal{S}^\circ = \left\{ h \in \mathbf{H} \mid \sup_s \langle s, h \rangle \leq 1 \quad (s \in \mathcal{S}) \right\} \quad (16)$$

В канонической многоканальной модели, определяющей подпороговое множество \mathcal{S} , может быть использовано любое множество $\mathbf{H} \subseteq \mathcal{S}^\circ$ такое, что его *выпуклое замыкание* $\text{conv}(\mathbf{H})$ (т.е. множество, состоящее из всех возможных выпуклых комбинаций элементов \mathbf{H}) совпадает с полярю \mathcal{S}° . В частности, к множеству \mathbf{H} можно добавлять любые элементы $h \in \text{conv}(\mathbf{H})$, не изменяя \mathcal{S} .

Доказательство основано на использовании двух известных теорем из выпуклого анализа:

Поляра множества совпадает с полярю его выпуклого замыкания: $\mathbf{H}^\circ = (\text{conv}(\mathbf{H}))^\circ$

Выпуклое, содержащее нулевой элемент множество совпадает со своей *биполярю*: $\mathcal{S}^{\circ\circ} = \mathcal{S}$.

Учитывая, что нулевой элемент всегда принадлежит поглощающему подпороговому множеству, получаем: если $\text{conv}(\mathbf{H}) = \mathcal{S}^\circ$, то $\mathbf{H}^\circ = (\text{conv}(\mathbf{H}))^\circ = \mathcal{S}^{\circ\circ} = \mathcal{S}$ (17)

Таким образом, если подпороговое множество \mathcal{S} выпукло, то все канонические многоканальные модели с линейными функционалами и пиковым решающим правилом, для которых $\text{conv}(\mathbf{H}) = \mathcal{S}^\circ$, с одинаковым успехом годятся для его описания.

По сути дела, полярю \mathcal{S}° является максимально допустимым набором линейных функционалов, которые могут определять данное подпороговое множество \mathcal{S} . В моделях же обычно фигурирует множество каналов $\mathbf{H} \subseteq \mathcal{S}^\circ$, что и порождает проблему психофизической эквивалентности.

Для построения наиболее «простой» канонической модели требуется выделить некоторое минимальное подмножество $\mathbf{H} \subseteq \mathcal{S}^\circ$ такое, что $\text{conv}(\mathbf{H}) = \mathcal{S}^\circ$. Основная идея здесь заключается в том, что выпуклое множество можно «реконструировать» по минимальному набору его элементов при помощи взятия их различных выпуклых комбинаций. Здесь уместна аналогия с линейным пространством,

каждый элемент которого может быть воссоздан как линейная комбинация элементов базиса.

Для выпуклого множества такую же роль играют его *экстремальные элементы*, которые не могут быть представлены в виде выпуклой комбинации никаких других элементов множества. Иначе говоря, экстремальный элемент не является внутренним элементом никакого отрезка, принадлежащего выпуклому множеству. Тогда, в соответствии с теоремой Крейна–Мильмана, всякое компактное выпуклое множество является выпуклой оболочкой своих экстремальных элементов.

Если модель включает конечное число каналов, то их выпуклое замыкание, (т. е. поляра S°) будет выпуклым обобщенным многогранником, экстремальными элементами которого служат его вершины. Тогда подпороговое множество S – также выпуклый обобщенный многогранник, каждой грани которого соответствует одна из вершин многогранника S° .

Но, вообще говоря, для канонического представления подпорогового множества может потребоваться очень большое (в принципе – бесконечное) число каналов. Предположение о том, что каждому каналу соответствует свой нейронный механизм, выглядит в этом случае маловероятным. Однако допустимо считать, что канал адаптивно формируется при предъявлении наблюдателю каждого стимула. Особенности устройства зрительного анализатора должны накладывать определенные ограничения на вид весовой функции канала. В этом смысле можно рассматривать H как множество всех тех каналов, которые потенциально могут быть сформированы.

Сформулируем принцип согласованного обнаружения следующим образом: Реакция зрительного анализатора на стимул s определяется линейным каналом с максимальным откликом. Его весовая функция $h_s \in H$ является решением задачи $\langle s, h \rangle \rightarrow \sup_{h \in H}$, а пороговым функционалом служит (в соответствии с (10)) опорная функция множества H :

$$K[s] = \langle s, h_s \rangle = \sup_h \langle s, h \rangle \quad (h \in H) \quad (18)$$

Таким образом, каноническая многоканальная модель соответствует принципу согласованного обнаружения.

Любую модель обнаружения, допускающую каноническое представление, можно с одинаковым успехом описывать в терминах как подпороговых множеств, так и их поляра, т. е. максимально возможных наборов линейных функционалов. В первом случае модель задается с помощью калибровочной функции $K[s]$. Такой способ характерен для различных одноканальных и многоканальных мо-

делей. Если же используется принцип согласованного обнаружения, то модель определяется множеством допустимых каналов, которое также можно задать при помощи своей калибровочной функции $\mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}]$:

$$\mathcal{S}^\circ = \text{conv}(\mathcal{H}) = \left\{ \mathbf{h} \in \mathbb{H} \mid \mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}] \leq 1 \right\} \quad (19)$$

Сравнив (11) и (19) легко видеть, что калибровочная функция множества \mathcal{S}° совпадает с опорной функцией множества \mathcal{S} (ср. с (10)):

$$\mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}] = \sup_{s \in \mathcal{S}} \langle s, \mathbf{h} \rangle \quad (20)$$

Но $\forall s \neq 0 : \frac{s}{\mathbf{K}[s]} \in \mathcal{S}$, поэтому равенство (20) можно переписать в виде

$$\mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}] = \sup_{s \neq 0} \frac{\langle s, \mathbf{h} \rangle}{\mathbf{K}[s]} \quad (21)$$

Отсюда следует, что калибровочные функционалы двух полярных множеств связаны следующим важным неравенством:

$$\forall s \in \mathcal{S}, \forall \mathbf{h} \in \mathbb{H} : \mathbf{K}[s] \cdot \mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}] \geq \langle s, \mathbf{h} \rangle \quad (22)$$

Известные неравенства вида (22) можно использовать для вычисления $\mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}]$ по заданному $\mathbf{K}[s]$ (и наоборот). Далее будут приведены соответствующие примеры.

Пусть для некоторых $s \in \mathcal{S}$ и $\mathbf{h} \in \mathbb{H}$ в (22) достигается равенство, т. е. выполняется условие $\mathbf{K}[s] \cdot \mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}] = \langle s, \mathbf{h} \rangle$. Тогда, в соответствии с (18), если $\mathbf{h} \neq 0$, то $\mathbf{K}[s] = \left\langle s, \frac{\mathbf{h}}{\mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}]} \right\rangle = \langle s, \mathbf{h}_s \rangle$. Аналогично,

$\mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}] = \left\langle \frac{s}{\mathbf{K}[s]}, \mathbf{h} \right\rangle = \langle s_h, \mathbf{h} \rangle$. В этом смысле стимул s_h является «оптимальным» для данного канала \mathbf{h} , а канал \mathbf{h}_s является «оптимальным» для данного стимула s . Таким образом, для каждого стимула s существует согласованный канал \mathbf{h}_s , для которого $\mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}_s] = 1$ и, при этом, $\forall s' \in \mathcal{S} : \mathbf{K}[s'] \geq \langle s', \mathbf{h}_s \rangle$.

И наоборот, для каждого канала \mathbf{h} существует такой пороговый стимул s_h , для которого $\mathbf{K}[s_h] = 1$, и в (22) достигается равенство.

Понятие согласованного канала имеет ясный геометрический смысл. Действительно, в силу положительной однородности калибровочной функции, для всех стимулов λs (где $\lambda > 0$), отличающихся только интенсивностью, согласованным будет один и тот же канал \mathbf{h}_s . Тогда без ограничения общности можно считать, что стимул s – пороговый, т. е. $\langle s, \mathbf{h}_s \rangle = 1$. Согласованный канал задает множество элементов $s' \in \mathcal{S}$, для которых $\langle s', \mathbf{h}_s \rangle = 1$, т. е. опорную гиперплоскость к подпороговому множеству в точке s . Действительно, такая гиперплоскость имеет с этим множеством по крайней мере одну

общую точку, и множество целиком лежит в одном из определяемых гиперплоскостью полупространств.

Экспериментальное построение опорной гиперплоскости лежит, по сути дела, в основе *метода подпороговой суммации* (Kulikowski et al., 1973; Shapley et al., 1973), позволяющего определять весовую функцию согласованного канала. Дадим формальное описание этого метода.

Пусть s – пороговый стимул, h_s – весовая функция согласованного канала ($\langle s, h_s \rangle = 1$), которую требуется определить. Будем предъявлять наблюдателю стимулы вида $s'_i = \lambda_0 s + \lambda_i s_i$ ($i = 1, 2, \dots, N$), где s_i задаются экспериментатором. При этом s_i не должны быть линейно зависимыми. В эксперименте один из двух коэффициентов λ_0, λ_i обычно фиксирован, а второй подбирается таким образом, чтобы комбинированные стимулы s'_i были пороговыми. Если выполняются условия $\lambda_0 \sim 1$ и $\lambda_i \ll 1$, то можно приближенно считать, что согласованный канал h_s будет одним и тем же для s и $s'_i = \lambda_0 s + \lambda_i s_i$:

$$\langle s, h_s \rangle = 1 = \langle s'_i, h_s \rangle = \langle \lambda_0 s + \lambda_i s_i, h_s \rangle = \lambda_0 \langle s, h_s \rangle + \lambda_i \langle s_i, h_s \rangle \quad (23)$$

Отсюда получаем

$$\langle s_i, h_s \rangle = \frac{1 - \lambda_0}{\lambda_i} \quad (24)$$

Понятно, что таким способом мы можем исследовать не все подпороговое множество S , а только его проекцию S_N на конечномерное подпространство $S_N \subset S$ размерности N , являющееся *линейной оболочкой* набора векторов $\{s_i\}$. Элементами S_N являются все возможные линейные комбинации этих векторов: $s \in S_N \Leftrightarrow s = \sum \lambda_i s_i$. Соответственно, $\{s_i \in S_N, i = 1, 2, \dots, N\}$ – базис в этом подпространстве.

Практически, мы аппроксимировали небольшой участок S_N опорной гиперплоскостью $\{s' \in S_N \mid \langle s', h_s \rangle = 1\}$ в точке s . Отметим, что если S действительно является многогранником, и опорная гиперплоскость совпадает с одной из граней, полученное соотношение будет выполняться точно.

На основании результатов подобного эксперимента можно найти весовую функцию согласованного канала h_s , используя *биортогональный базис*.

Пусть задан такой набор векторов $\{h_j \in \mathbb{H}, j = 1, 2, \dots, N\}$, что

$$\langle s_i, h_j \rangle = \delta_{i,j} = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ 1, & i = j \end{cases} \quad (25)$$

Эти вектора определены с точностью до произвольного вектора h^\perp , удовлетворяющего условию $\forall i : \langle s_i, h^\perp \rangle \equiv 0$. Действительно,

для векторов $\{h_j + h^\perp \in \mathbb{H}, j = 1 \dots N\}$ также будет выполняться условие (25).

Будем называть (Канторович, Акилов, 1984) *аннулятором* множества S_N подпространство

$$S^\perp = \{h^\perp \in \mathbb{H} \mid \langle s, h^\perp \rangle = 0 \quad \forall s \in S_N\} \quad (26)$$

В психофизических терминах, S^\perp – это множество таких линейных каналов, которые всегда дают нулевой отклик на стимулы из S_N .

Естественно потребовать, чтобы в подпространстве S^\perp у векторов h_i не было компоненты, т. е. эти вектора принадлежат факторпространству $\mathbb{H} \setminus S^\perp$ (Канторович, Акилов, 1984): $\{h_j \in \mathbb{H} \setminus S^\perp, j = 1, 2, \dots, N\}$. Тогда любой вектор $h_s \in \mathbb{H}$ однозначно представим в виде $h_s = \sum_{j=1}^N \eta_j h_j + h^\perp$. Как следует из (25) и (26),

$$\langle s_i, h_s \rangle = \left\langle s_i, \sum_{j=1}^N \eta_j h_j \right\rangle + \langle s_i, h^\perp \rangle = \sum_{j=1}^N \eta_j \langle s_i, h_j \rangle = \eta_i \quad (27)$$

Отсюда, в соответствии с (24), $\eta_i = \frac{1 - \lambda_0}{\lambda_i}$.

Линейная оболочка векторов $\{h_j\}$ является конечномерным подпространством $\mathbb{H}_N \subset \mathbb{H}$ размерности N , в котором эти вектора образуют базис. Базисы $\{s_i\}$ и $\{h_j\}$, для которых выполняется (25), называются *биортогональными*.

Таким образом, метод подпороговой суммации позволяет определить коэффициенты разложения η_i весовой функции согласованного канала по биортогональному базису, т. е. найти проекцию вектора h_s на подпространство \mathbb{H}_N . Чем больше различных стимулов s_i было использовано в эксперименте, тем точнее вычисляется h_s .

Например, при выборе в качестве элементов базиса s_i пространственных решеток с синусоидальным профилем яркости, экспериментально определяются коэффициенты разложения весовой функции согласованного канала в ряд Фурье, т. е. его частотная характеристика.

Если сделать естественное предположение об изоморфизме конечномерных подпространств S_N и \mathbb{H}_N , (т. е. считать, что функции интенсивности стимулов и весовые функции каналов являются элементами одного и того же функционального пространства), то по заданному набору $\{s_i\}$ можно вычислить элементы биортогонального базиса $\{h_j\}$. Будем искать коэффициенты разложения каждого элемента биортогонального базиса h_j по базису s_k : $h_j = \sum_{k=1}^N \gamma_{j,k} s_k$.

Умножив обе части этого равенства на s_i , получаем в соответствии с (25):

$$\langle s_i, h_j \rangle = \sum_{k=1}^N \gamma_{j,k} \langle s_i, s_k \rangle = \delta_{i,j} = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ 1, & i = j \end{cases} \quad (28)$$

Из (28) следует, что матрица коэффициентов разложения $\gamma_{j,k}$ является обратной к матрице Грама с элементами $\Gamma_{i,k} = \langle s_i, s_k \rangle$, причем Γ^{-1} существует в силу линейной независимости векторов $\{s_i\}$. Зная функции интенсивности $s_i = s_i(x)$ стимулов, использовавшихся в эксперименте, можно вычислить матрицу $\Gamma_{i,k} = \int_{\mathbb{X}} s_i(x) s_k(x) dx$, и найти обратную ей, т. е. определить коэффициенты $\gamma_{j,k}$.

Далее, рассчитываются элементы биортогонального базиса $h_j(x) = \sum_{k=1}^N \gamma_{j,k} s_k(x)$, и приближенная весовая функция согласованного канала $h_s(x) = \sum_{j=1}^N \frac{1-\lambda_0}{\lambda_j} h_j(x)$.

В завершение отметим, что результаты, полученные методом подпороговой суммации, допускают естественную проверку: весовая функция согласованного канала h_s не должна зависеть от выбора базисных стимулов s_i , если они лежат в одном и том же подпространстве.

—

При анализе моделей на качественном уровне часто необходимо знать, как повлияет то или иное изменение набора каналов (добавление и удаление, каналов, изменение веса одного канала и т. п.) на вид порогового множества. Для этого можно использовать известные свойства поляра:

$$\begin{aligned} (\lambda S)^\circ &= \lambda^{-1} S^\circ \\ \left(\bigcup_i S_i\right)^\circ &= \bigcap_i S_i^\circ \end{aligned}$$

Если все S_i выпуклы и содержат нулевой элемент, то

$$\begin{aligned} \left(\bigcap_i S_i\right)^\circ &= \text{conv}\left(\bigcup_i S_i^\circ\right) \\ S_1 \subset S_2 &\Rightarrow S_2^\circ \subset S_1^\circ \end{aligned}$$

Если $\mathbb{K} \subset \mathbb{S}$ – подпространство, то

$\mathbb{K}^\circ = \{h \in \mathbb{H} \mid \langle s, h \rangle = 0 \quad \forall s \in \mathbb{K}\}$ – также подпространство, являющееся аннулятором $\mathbb{K}^\perp = \mathbb{K}^\circ$ подпространства \mathbb{K} .

Из последних двух утверждений следует, что если подпороговое множество содержит целиком некоторое подпространство $\mathbb{K} \subset \mathbb{S}$, (т. е. существуют такие стимулы, никакая линейная комбинация которых не может быть обнаружена наблюдателем), то поляра этого множества целиком лежит в подпространстве \mathbb{K}^\perp : $S^\circ \subset \mathbb{K}^\perp$.

Как отмечалось выше, подпороговое множество \mathcal{S} является поглощающим (1). Это означает, что \mathcal{S} не может целиком лежать ни в каком подпространстве пространства \mathbb{S} . Но тогда его поляр \mathcal{S}° не содержит никакого подпространства сопряженного пространства \mathbb{H} .

До сих пор мы изучали геометрические свойства подпороговых множеств на пространстве стимулов \mathbb{S} . Можно, однако, рассматривать соответствующие множества и на пространстве \mathbb{S} .

Как и ранее, $\Psi: \mathbb{S} \rightarrow \tilde{\mathbb{S}}$ – линейный непрерывный оператор, $\mathcal{S} \subset \mathbb{S}$ – подпороговое множество. Пусть множество $\tilde{\mathcal{S}} \subset \tilde{\mathbb{S}}$ таково, что $\forall s \in \mathcal{S} \Rightarrow \Psi[s] = \tilde{s} \in \tilde{\mathcal{S}}$, а также $\forall \tilde{s} \in \tilde{\mathcal{S}} \exists s \in \mathcal{S} : \Psi[s] = \tilde{s}$. В этом случае будем писать $\Psi(\mathcal{S}) = \tilde{\mathcal{S}}$. В частности, если \mathcal{S} – все пространство \mathbb{S} , то $\tilde{\mathcal{S}}$ – образ оператора $Im \Psi$.

Далее, пусть \mathbb{H} – также вещественное линейное топологическое пространство, и задана билинейная форма, приводящая \mathbb{S} и \mathbb{H} в двойственность. Оператор $\Psi^*: \mathbb{H} \rightarrow \mathbb{H}$ такой, что $\forall s \in \mathbb{S}, \forall \tilde{h} \in \mathbb{H} : \langle \Psi[s], \tilde{h} \rangle = \langle s, \Psi^*[\tilde{h}] \rangle$ (29)

называется сопряженным. Он допускает простую психофизическую интерпретацию: если обнаружение стимула производится линейным каналом с весовой функцией \tilde{h} , действующим на выходе препроцессора Ψ (т. е. на пространстве \mathbb{S}), то экспериментально (например, с помощью метода подпороговой суммации) будет получена весовая функция $h = \Psi^*[\tilde{h}]$.

Имеют место следующие соотношения (Робертсон, Робертсон, 1967; Шефер, 1971):

Если \mathcal{S} – выпуклое множество, то и $\tilde{\mathcal{S}} = \Psi(\mathcal{S})$ – выпукло;

Из $\Psi(\mathcal{S}_1) \subset \tilde{\mathcal{S}}_2$ следует $\Psi^*(\tilde{\mathcal{S}}_2^\circ) \subset \mathcal{S}_1^\circ$;

Если \mathcal{S}_1 и $\tilde{\mathcal{S}}_2$ – замкнутые выпуклые множества, содержащие 0, то из $\Psi^*(\tilde{\mathcal{S}}_2^\circ) \subset \mathcal{S}_1^\circ$ следует $\Psi(\mathcal{S}_1) \subset \tilde{\mathcal{S}}_2$;

Если существует обратный оператор $(\Psi^*)^{-1}$, то

$$[\Psi(\mathcal{S})]^\circ = (\Psi^*)^{-1}(\mathcal{S}^\circ);$$

Последнее соотношение означает, что линейному преобразованию подпорогового множества соответствует некоторое линейное преобразование множества каналов. Иными словами, если на пространстве \mathbb{S} определена каноническая модель, то имеется эквивалентная ей модель на пространстве $\tilde{\mathbb{S}}$, причем линейные функционалы в этом случае будут элементами пространства \mathbb{H} .

Может показаться, что существование обратного оператора накладывает жесткие ограничения на Ψ . Однако на самом деле

Ψ^{-1} всегда существует, если исключить из рассмотрения такие стимулы s , для которых $\Psi[s] = 0$ (т. е. ядро оператора Ψ) и, соответственно, $\mathbf{K}[s] = 0$. Эти стимулы, образующие подпространство $\text{Ker } \Psi \subset \mathcal{S}$, принципиально никогда не могут быть обнаружены, т. к. их не пропускает препроцессор. Тогда, как было показано выше, $\mathcal{S}^\circ \subset (\text{Ker } \Psi)^\perp$, и $\forall h \notin (\text{Ker } \Psi)^\perp : \mathbf{K}[h] = \infty$. Таким образом, без потери общности можно рассматривать в качестве пространства стимулов факторпространство $\mathcal{S} \setminus \text{Ker } \Psi$, а в качестве сопряженного пространства — $(\text{Ker } \Psi)^\perp$. Этот прием будет использоваться в дальнейшем.

Как было отмечено выше, с помощью известных неравенств вида (22) можно определять для различных $\mathbf{K}[s]$ полярные калибровочные функции $\mathbf{K}^\circ[h]$ (и наоборот), а также вычислять весовые функции согласованных каналов.

Применим этот формализм для анализа так называемых «векторных» многоканальных моделей различения с конечным набором линейных каналов с весовыми функциями $h_j \in \mathbb{H}$ ($j = 1, 2, \dots, N$), и сложным решающим правилом (12) (Dubrovsky, Logvinenko, 1984). В этом случае подпороговое множество задается калибровочной функцией

$$\mathbf{K}[s] = \left\{ \sum_{j=1}^N |\langle s, h_j \rangle|^\alpha \right\}^{\vee \alpha} = \left\{ \sum_{j=1}^N |\xi_j|^\alpha \right\}^{\vee \alpha} \quad (\alpha \geq 1) \quad (30)$$

где $\xi_j = \langle s, h_j \rangle$.

Будем считать, что задан биортогональный базис $\{s_i \in \mathcal{S} \setminus H^\perp, i = 1, 2, \dots, N\}$, и определен калибровочный функционал

$$\mathbf{K}^\circ[h] = \left\{ \sum_{i=1}^N |\langle s_i, h \rangle|^\beta \right\}^{\vee \beta} = \left\{ \sum_{i=1}^N |\zeta_i|^\beta \right\}^{\vee \beta} \quad (\beta \geq 1) \quad (31)$$

Здесь, соответственно, $\zeta_i = \langle s_i, h \rangle$.

Воспользуемся неравенством Гёльдера (Канторович, Акилов, 1984)

$$\left\{ \sum_j |\xi_j|^\alpha \right\}^{\vee \alpha} \cdot \left\{ \sum_i |\zeta_i|^\beta \right\}^{\vee \beta} \geq \sum_{j=1}^N \xi_j \zeta_j \quad (32)$$

где $\alpha, \beta \geq 1, 1/\alpha + 1/\beta = 1$

Отсюда

$$\left\{ \sum_{j=1}^N |\langle s, h_j \rangle|^\alpha \right\}^{\vee \alpha} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N |\langle s_i, h \rangle|^\beta \right\}^{\vee \beta} \geq \sum_{j=1}^N \langle s, h_j \rangle \cdot \langle s_j, h \rangle \quad (33)$$

Будем предполагать, что стимулы, на которые не реагирует ни один из каналов, исключаются из рассмотрения, т. е. $\mathbf{s} \in \mathbb{S} \setminus \mathbf{H}^\perp$.

Тогда $\mathbf{s} = \sum_{i=1}^N \mu_i \mathbf{s}_i$ и

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \langle \mathbf{s}, \mathbf{h}_j \rangle \cdot \langle \mathbf{s}_j, \mathbf{h} \rangle &= \sum_{i=1}^N \mu_i \sum_{j=1}^N \langle \mathbf{s}_i, \mathbf{h}_j \rangle \cdot \langle \mathbf{s}_j, \mathbf{h} \rangle \\ &= \sum_{i=1}^N \mu_i \sum_{j=1}^N \delta_{i,j} \langle \mathbf{s}_i, \mathbf{h} \rangle = \sum_{i=1}^N \mu_i \langle \mathbf{s}_i, \mathbf{h} \rangle = \left\langle \sum_{i=1}^N \mu_i \mathbf{s}_i, \mathbf{h} \right\rangle = \langle \mathbf{s}, \mathbf{h} \rangle \end{aligned}$$

В результате получаем неравенство вида (22):

$$\left\{ \sum_{j=1}^N \left| \langle \mathbf{s}, \mathbf{h}_j \rangle \right|^\alpha \right\}^{1/\alpha} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^N \left| \langle \mathbf{s}_i, \mathbf{h} \rangle \right|^\beta \right\}^{1/\beta} \geq \langle \mathbf{s}, \mathbf{h} \rangle \quad (34)$$

где $\alpha, \beta \geq 1$, $1/\alpha + 1/\beta = 1$

Таким образом, калибровочные функции (30) и (31) являются полярными. Отсюда следует, что калибровочная функция $\mathbf{K}^\circ[\mathbf{h}]$ задает множество каналов для канонической модели:

$$\mathbf{H} = \left\{ \mathbf{h} \in \mathbb{H} \mid \left\{ \sum_{i=1}^N \left| \langle \mathbf{s}_i, \mathbf{h} \rangle \right|^\beta \right\}^{1/\beta} \leq 1 \right\} \quad (35)$$

Нам осталось определить для этого примера весовую функцию согласованного канала. Равенство в (32) достигается при условии $\lambda \zeta_i = |\xi_i|^{\alpha-1} \text{sign}(\xi_i)$ или $\lambda \langle \mathbf{s}_i, \mathbf{h}_s \rangle = \left| \langle \mathbf{s}, \mathbf{h}_s \rangle \right|^{\alpha-1} \text{sign} \langle \mathbf{s}, \mathbf{h}_s \rangle$ ($i = 1, 2, \dots, N$)

Выше было показано, что любой вектор $\mathbf{h}_s \in \mathbb{H}$ представим в виде $\mathbf{h}_s = \sum_{j=1}^N \eta_j \mathbf{h}_j + \mathbf{h}^\perp$, где $\mathbf{h}^\perp \in \mathbf{S}^\perp$. Ясно, что \mathbf{h}^\perp можно выбирать произвольно, т. к. в соответствии со сделанным предположением $\langle \mathbf{s}, \mathbf{h}^\perp \rangle \equiv 0$. Иначе говоря, \mathbf{h}^\perp – канал, который дает нулевой отклик на любой из предъявляемых стимулов, и естественно положить $\mathbf{h}^\perp = 0$. Подставив (в соответствии с (27)) $\eta_j = \langle \mathbf{s}_j, \mathbf{h}_s \rangle$ в выражение

$$\begin{aligned} \mathbf{h}_s &= \sum_{j=1}^N \eta_j \mathbf{h}_j, \text{ и учитывая (36), получаем:} \\ \lambda \mathbf{h}_s &= \lambda \sum_{j=1}^N \langle \mathbf{s}_j, \mathbf{h}_s \rangle \mathbf{h}_j = \sum_{j=1}^N \left| \langle \mathbf{s}, \mathbf{h}_s \rangle \right|^{\alpha-1} \text{sign} \langle \mathbf{s}, \mathbf{h}_s \rangle \mathbf{h}_j \end{aligned} \quad (37)$$

Итак, мы показали, как для «векторной» многоканальной модели различения с конечным набором линейных каналов и сложным ре-

шающим правилом можно аналитически построить эквивалентную каноническую модель с бесконечным числом каналов и пиковым решающим правилом, а также получили выражение для согласованного канала.

В качестве следующего примера рассмотрим одноканальную модель (5) с калибровочной функцией

$$\mathbf{K}[s] = \left[\int_{\mathbb{X}} |\Psi[s(x)]|^\alpha dx \right]^{1/\alpha} \quad (\alpha \geq 1) \quad (38)$$

Считая, что для линейного оператора $\Psi : \mathbb{S} \rightarrow \tilde{\mathbb{S}}$ существует обратный оператор Ψ^{-1} (см. сделанное выше на этот счет замечание), снова используем в качестве (22) интегральное неравенство Гёльдера (Канторович, Акилов, 1984):

$$\left[\int_{\mathbb{X}} |\tilde{s}(x)|^\alpha dx \right]^{1/\alpha} \cdot \left[\int_{\mathbb{X}} |\tilde{h}(x)|^\beta dx \right]^{1/\beta} \geq \langle \tilde{s}, \tilde{h} \rangle \quad (39)$$

где $1/\alpha + 1/\beta = 1$, и билинейная форма в правой части понимается в смысле (9).

$$\text{Пусть } \tilde{s} = \Psi[s], \tilde{h} = (\Psi^{-1})^*[h].$$

Из определения сопряженного оператора (29) следует, что

$$\langle \tilde{s}, \tilde{h} \rangle = \langle \Psi[s], (\Psi^{-1})^*[h] \rangle = \langle (\Psi^{-1})\Psi[s], h \rangle = \langle s, h \rangle \quad (40)$$

С учетом (40) неравенство (39) аналогично (22), так что для калибровочной функции поляры \mathbf{S}° справедливо выражение

$$\mathbf{K}^\circ[h] = \left[\int_{\mathbb{X}} |(\Psi^{-1})^*[h(x)]|^\beta dx \right]^{1/\beta} \quad (\beta \geq 1) \quad (41)$$

Равенство в (39) достигается, если $\lambda \tilde{h} = |\tilde{s}|^{\alpha-1} \text{sign}(\tilde{s})$ или $\lambda (\Psi^{-1})^*[h] = |\Psi[s]|^{\alpha-1} \text{sign}(\Psi[s])$, откуда следует, что весовая функция согласованного канала удовлетворяет условию

$$\lambda h = \Psi^* \left(|\Psi[s]|^{\alpha-1} \text{sign}(\Psi[s]) \right) \quad (42)$$

Представляют интерес следующие частные случаи:

Пусть $\alpha = \infty, \beta = 1$. Тогда (38) сводится к выражению

$$\mathbf{K}[s] = \sup_{x \in \mathbb{X}} |\Psi[s(x)]| \quad (43)$$

что соответствует одноканальной модели с пиковым решающим правилом (4). При этом

$$\mathbf{K}^\circ[h] = \int_{\mathbb{X}} |(\Psi^{-1})^*[h(x)]| dx \quad (44)$$

При $\alpha = \beta = 2$ предполагается, что решение о наличии стимула принимается по «энергии» сигнала на выходе препроцессора,

описываемого оператором Ψ (одноканальная модель с «энергетическим» решающим правилом). Равенство в (39) достигается при $\lambda(\Psi^{-1})^*[\mathbf{h}] = \Psi[s]$ или $\lambda\mathbf{h} = \Psi^*[\Psi[s]]$ (классический согласованный фильтр). Весовая функция согласованного канала связана в этом случае с профилем стимула линейным преобразованием.

Полученные соотношения можно также интерпретировать в соответствии с принципом согласованного обнаружения. В частности, зрительный анализатор будет вести себя как пиковый детектор (43), если ограничен интеграл от весовой функции канала на пространстве \mathbb{H} . Если же ограничена ее «энергия», зрительная система должна быть «энергетическим детектором». Такая модель соответствует классической концепции согласованного обнаружения (Логвиненко, 1985; Hauske, 1974; Hauske et al., 1978; Hauske et al., 1976).

В рассмотрим еще вполне естественное условие ограниченности по интенсивности весовой функции канала \tilde{h} . При $\alpha = 1$, $\beta = \infty$ из (38) и (41) следует, что если $\tilde{h}(\mathbf{x})$ ограничено, т. е. $\mathbf{K}^*[\mathbf{h}] = \sup_{\mathbf{x} \in \mathbb{X}} |\tilde{h}(\mathbf{x})| = \sup_{\mathbf{x} \in \mathbb{X}} |(\Psi^{-1})^*[\mathbf{h}(\mathbf{x})]|$, то $\mathbf{K}[s] = \int_{\mathbb{X}} |\Psi[s(\mathbf{x})]| d\mathbf{x}$. Как ни странно, такой пороговый функционал практически никогда не фигурировал в моделях обнаружения.

В заключительной части работы будет показано, как соотносятся геометрические модели, опирающиеся на аппарат выпуклого анализа, и дифференциально-геометрический подход к задачам сенсорного различения, основывающийся на теории пространств Финслера. Между этими двумя подходами на самом деле существует глубокая внутренняя связь. Идея использовать геометрию Финслера для описания задач сенсорного различения высказана в работе (Дубровский, 1985). На формальный аппарат финслеровой геометрии в значительной степени опирается многомерное фехнеровское шкалирование (Dzhafarov, Colonius, 1999; 2001).

Предварительно приведем, следуя монографии (Рунд, 1981), краткую сводку основных понятий геометрии финслеровых пространств. При этом для большей наглядности будет использована введенная выше система обозначений.

Определим обобщенную функцию Лагранжа $\mathbf{L}(s_b, s)$, задающую в зависимости от фонового стимула s_b подпороговое множество \mathcal{S}_b :

$$\mathcal{S}_b = \left\{ s \in \mathbb{S} \mid \mathbf{L}(s_b, s) \leq 1 \right\} \quad (45)$$

Поверхность, определяемая уравнением $\mathbf{L}(s_b, s) = 1$, называется *индикатрисой*. Она является множеством граничных элементов \mathcal{S} , т. е. пороговых стимулов.

Для того чтобы можно было использовать дифференциально-геометрический подход, необходимо ограничиться стимулами $\mathbf{s}_b, \mathbf{s} \in \mathbb{R}^N$. На самом деле, это условие (практически всегда выполняющееся в экспериментальной ситуации) означает, что стимулы лежат в некотором конечном мерном подпространстве $\mathbf{s} \in \mathbb{S}_N \subset \mathbb{S}$, т.е. имеют вид $\mathbf{s} = \sum_{i=1}^N \lambda_i \mathbf{s}_i$, где $\{\mathbf{s}_i \in \mathbb{S}_N, i = 1, 2, \dots, N\}$ – базис. Далее будет употребляться запись $\mathbf{s} = (s^1, s^2, \dots, s^N)$, где s^i – компоненты вектора \mathbf{s} . Будем также считать, что функция $\mathbf{L}(\mathbf{s}_b, \mathbf{s})$ достаточно гладкая (принадлежит классу \mathbf{C}^2 по всем своим $2N$ аргументам).

Потребуем, чтобы функция Лагранжа определяла расстояние $\rho(\mathbf{s}_b, \mathbf{s}_b + d\mathbf{s}_b) = \mathbf{L}(\mathbf{s}_b, d\mathbf{s}_b)$ между двумя бесконечно близкими точками \mathbf{s}_b и $\mathbf{s}_b + d\mathbf{s}_b$. Для того, чтобы использование \mathbf{L} в качестве метрической функции было корректным, она должна удовлетворять определенным условиям:

1. Любые две точки в пространстве стимулов можно соединить некоторой гладкой кривой $\mathbf{s}_b = \mathbf{s}_b(l)$, заданной параметрически. Расстояние между этими точками вдоль кривой определяется интегралом

$$I = \int_{l_1}^{l_2} \mathbf{L}\left(\mathbf{s}_b, \frac{d\mathbf{s}_b}{dl}\right) dl \quad (46)$$

Интеграл (46) не должен зависеть от выбора параметра. Необходимым и достаточным условием для этого является положительная однородность функции $\mathbf{L}(\mathbf{s}_b, \mathbf{s})$ по второму аргументу:

$$\mathbf{L}(\mathbf{s}_b, \lambda \mathbf{s}) = \lambda \mathbf{L}(\mathbf{s}_b, \mathbf{s}) \quad (\lambda > 0)$$

2. Функция $\mathbf{L}(\mathbf{s}_b, \mathbf{s})$ должна быть положительна, если не все s^i обращаются в нуль одновременно: $\mathbf{L}(\mathbf{s}_b, \mathbf{s}) > 0$ при $\sum_i (s^i)^2 \neq 0$.

3. Квадратичная форма $\sum_i \sum_j \frac{\partial^2 \mathbf{L}^2}{\partial s^i \partial s^j} \xi^i \xi^j$ положительно определена (условие Лежандра). Это условие является достаточным для того, что функция $\mathbf{L}(\mathbf{s}_b, \mathbf{s})$ была выпуклой по второму аргументу.

Далее нам понадобится теорема Эйлера об однородных функциях. Функция $f: \mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}$ называется положительно однородной степени k , если $\forall \mathbf{x} \in \mathbb{R}^N, \forall \lambda > 0 \quad f(\lambda \mathbf{x}) = \lambda^k f(\mathbf{x})$. Тогда

$$\sum_i x^i \frac{\partial f}{\partial x^i} = k f(\mathbf{x})$$

Применяя эту теорему (при $k = 1$) к функции $\mathbf{L}(\mathbf{s}_b, \mathbf{s})$ по второму аргументу, получаем следующее тождество:

$$\sum_i \frac{\partial \mathbf{L}(s_b, s)}{\partial s^i} s^i \equiv \mathbf{L}(s_b, s) \quad (47)$$

Каждое дифференцирование уменьшает степень однородности k на единицу, поэтому

$$\sum_i \sum_j \frac{\partial^2 \mathbf{L}(s_b, s)}{\partial s^i \partial s^j} s^i = 0 \cdot \frac{\partial \mathbf{L}(s_b, s)}{\partial s^i} \equiv 0 \quad (k=0) \quad (48)$$

Аналогично, из условия положительной однородности второй степени для $\mathbf{L}^2(s_b, s)$ следует, что

$$\sum_i \frac{\partial \mathbf{L}^2(s_b, s)}{\partial s^i} s^i = 2\mathbf{L}^2(s_b, s) \quad (k=2) \quad (49)$$

$$\sum_j \frac{\partial \mathbf{L}^2(s_b, s)}{\partial s^i \partial s^j} s^j = \frac{\partial \mathbf{L}^2(s_b, s)}{\partial s^i} \quad (k=1) \quad (50)$$

Умножим (50) на s^i и просуммируем по i :

$$\sum_i \sum_j \frac{\partial^2 \mathbf{L}^2(s_b, s)}{\partial s^i \partial s^j} s^i s^j = \sum_i \frac{\partial \mathbf{L}^2(s_b, s)}{\partial s^i} s^i = 2\mathbf{L}^2(s_b, s) \quad (51)$$

Определим величины

$$g_{i,j} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{L}^2(s_b, s)}{\partial s^i \partial s^j} \quad (52)$$

что позволяет записать (51) в виде

$$\mathbf{L}^2(s_b, s) \equiv \sum_i \sum_j g_{i,j}(s_b, s) s^i s^j \quad (53)$$

Величины $g_{i,j}$ можно рассматривать как компоненты ковариантного метрического тензора в касательном пространстве:

$$\mathbf{L}^2(s_b, ds_b) = \sum_i \sum_j g_{i,j}(s_b, ds_b) ds_b^i ds_b^j \quad (54)$$

Длина кривой может быть вычислена по формуле

$$I = \int_{l_1}^{l_2} \left[\sum_i \sum_j g_{i,j} \left(s_b, \frac{ds_b}{dl} \right) \frac{ds_b^i}{dl} \frac{ds_b^j}{dl} \right]^{1/2} dl \quad (55)$$

Тот частный случай, когда в (54) величины $g_{i,j} = g_{i,j}(s_b)$ не зависят от второго аргумента, соответствует геометрии Римана. При этом подпороговое множество \mathbf{S}_b (45) будет эллипсоидом, определяемым функцией Лагранжа:

$$\mathbf{L}(s_b, ds) = \left[\sum_i \sum_j g_{i,j}(s_b) ds_b^i ds_b^j \right]^{1/2} \quad (56)$$

Выше было показано, что задачу различения можно с одинаковым успехом описывать как в пространстве стимулов, так и в сопряженном пространстве каналов. В классической механике таким сопряженным пространством является *пространство импульсов*.

Обычно компоненты импульса определяются как $h_j = \frac{\partial \mathbf{L}(s_b, s)}{\partial s^j}$.

Однако из тождества (48) сразу следует, что $\det \left(\frac{\partial^2 \mathbf{L}}{\partial s^j \partial s^k} \right) \equiv 0$, так

что при таком определении нельзя будет однозначно выразить вектор s через h . Но можно корректно определить компоненты импульса следующим образом:

$$h_j = \frac{1}{2} \frac{\partial \mathbf{L}^2(s_b, s)}{\partial s^j} = \mathbf{L}(s_b, s) \frac{\partial \mathbf{L}(s_b, s)}{\partial s^j} \quad (57)$$

В силу условия Лежандра мы можем разрешить это уравнение относительно s :

$$s = \varphi(s_b, h) \quad (58)$$

Определим функцию Гамильтона

$$\mathbf{H}(s_b, h) = \mathbf{L}(s_b, \varphi(s_b, h)) \quad (59)$$

Можно доказать, что $s^j = \mathbf{H}(s_b, h) \frac{\partial \mathbf{H}(s_b, h)}{\partial h_j} = \frac{1}{2} \frac{\partial \mathbf{L}^2(s_b, h)}{\partial h_j}$ (60)

и $\frac{\partial \mathbf{H}(s_b, h)}{\partial s_b^j} = - \frac{\partial \mathbf{L}(s_b, h)}{\partial s_b^j}$ (61)

С помощью функции Гамильтона определяется контравариантный метрический тензор

$$g^{i,j}(s_b, h) = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{H}^2(s_b, h)}{\partial h_i \partial h_j} \quad (62)$$

и доказывается соответствующее тождество (аналогичное (53))

$$\mathbf{H}^2(s_b, h) \equiv \sum_i \sum_j g^{i,j}(s_b, h) h_i h_j \quad (63)$$

Поверхность, определяемая уравнением $\mathbf{H}(s_b, h) = 1$, называется *фигуратрисой*. Она является множеством граничных элементов множества $\mathbf{H}_b = \{h \in \mathbb{H} \mid \mathbf{H}(s_b, h) \leq 1\}$, т. е. допустимых весовых функций каналов.

—

Теперь покажем, как соотносится этот подход с методами выпуклого анализа (Рокафеллар, 1973; Иоффе, Тихомиров, 1974). Подпороговое

множество однозначно определяется своей калибровочной функцией $\mathbf{K}_b[s]$. Будем рассматривать функции Лагранжа вида

$$\mathbf{L}(s_b, s) = f(\mathbf{K}_b[s]) \quad (64)$$

Здесь $f(\xi) : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ – выпуклая функция одной переменной, для которой выполняется неравенство Йенсена:

$$f(\lambda_1 \xi_1 + \lambda_2 \xi_2) \leq f(\lambda_1 \xi_1) + f(\lambda_2 \xi_2) \quad (65)$$

где $\forall \lambda_1, \lambda_2 \in [0, 1], \lambda_1 + \lambda_2 = 1$.

Функции вида $f(\mathbf{K}_b[s])$, все множества уровня которых $\{s \in \mathbb{S} \mid f(\mathbf{K}_b[s]) \leq \varepsilon\}$ пропорциональны, называют *калибropодобными*. Легко показать, что эти функции будут выпуклыми, т. е. для всех $s_1, s_2 \in \mathbb{S}$ и $\lambda_1, \lambda_2 \in [0, 1], \lambda_1 + \lambda_2 = 1$:

$$\mathbf{L}(s_b, \lambda_1 s_1 + \lambda_2 s_2) \leq \lambda_1 \mathbf{L}(s_b, s_1) + \lambda_2 \mathbf{L}(s_b, s_2) \quad (66)$$

Вообще говоря, различие стимулов испытуемым описывается не просто величиной порога, но вероятностной психометрической функцией. В принципе, можно рассматривать и более общие пороговые функционалы, являющиеся многомерным обобщением психометрических функций. Им соответствуют лагранжианы более общего вида, которые должны задавать систему вложенных подпороговых множеств. Для любой величины порога ε множество уровня $\{s \in \mathbb{S} \mid \mathbf{L}(s_b, s) \leq \varepsilon\}$ такой функции должно быть выпуклым. Можно показать, что при этом $\mathbf{L}(s_b, s)$ должно быть *квазивыпуклым* функционалом (Roberts et al., 1973), удовлетворяющим условию:

$$\mathbf{L}(s_b, s_1 + s_2) \leq \sup(\mathbf{L}(s_b, s_1), \mathbf{L}(s_b, s_2)) \quad (67)$$

Изучение таких моделей выходит, однако, за рамки настоящей работы.

Преобразование Юнга – Фенхеля функции $\mathbf{F}[s]$ называется функцией

$$\mathbf{F}^*[h] = \sup(\langle s, h \rangle - \mathbf{F}[s]) \quad (68)$$

$\mathbf{F}[s] = \mathbf{F}^{**}[s]$ в том и только в том случае, когда \mathbf{F} выпукла и замкнута (теорема Фенхеля – Моро).

Используя это преобразование, каждой функции Лагранжа $\mathbf{L}(s_b, s)$ можно поставить в соответствие функцию Гамильтона:

$$\mathbf{H}(s_b, h) = \mathbf{L}^*(s_b, h) = \sup(\langle s, h \rangle - \mathbf{L}(s_b, s)) \quad (69)$$

Функции $\mathbf{L}(s_b, s)$ и $\mathbf{H}(s_b, h)$ называются *сопряженными*. Отметим, что в финслеровом пространстве преобразование (69) сводится к преобразованию Лежандра.

Вычислим сопряженную функцию для калибropодобной функции $\mathbf{L}(s_b, s) = f(\mathbf{K}_b[s])$:

$$\begin{aligned}
L^*(s_b, h) &= \sup_s (\langle s, h \rangle - f(\mathbf{K}_b[s])) = \\
&= \sup_{\xi \geq 0} \sup_{\mathbf{K}_b[s]=\xi} (\langle s, h \rangle - f(\mathbf{K}_b[s])) = \\
&= \sup_{\xi \geq 0} \left(\sup_{\mathbf{K}_b[s]=\xi} \langle s, h \rangle - f(\xi) \right) = \sup_{\xi \geq 0} (\xi \mathbf{K}_b^\circ[h] - f(\xi))
\end{aligned} \tag{70}$$

Потребуем дополнительно, чтобы функция $f[\xi] - \xi \zeta$ достигала своего минимума в точке $\xi \geq 0$ для любого значения параметра $\zeta \geq 0$. Выпуклая функция f удовлетворяет этому условию, если, например, она четна, или если $f \geq 0$ и $f[0] = 0$ (Экланд, Тетам, 1979). Тогда

$$\sup_{\xi \geq 0} (\xi \mathbf{K}^\circ[h] - f(\xi)) = \sup_{\xi \in \mathbb{R}} (\xi \mathbf{K}^\circ[h] - f(\xi)) = f^*(\mathbf{K}^\circ[h]) \tag{71}$$

Итак, при сделанных относительно функции f предположениях

$$\begin{aligned}
(L(s_b, s))^* &= (f(\mathbf{K}_b[s]))^* = \\
&= f^*(\mathbf{K}_b^\circ[h]) = L^*(s_b, h) = \mathbf{H}(s_b, h)
\end{aligned} \tag{72}$$

Эта формула позволяет в явном виде вычислять гамильтонианы для калибродобных лагранжианов.

Приведем важный для дальнейшего изложения пример сопряженных функций $f(\xi)$ и $f^*[\zeta]$. Пусть $\xi, \zeta \in \mathbb{R}$, $\alpha, \beta \geq 1$, $1/\alpha + 1/\beta = 1$ и $f[\xi] = \frac{1}{\alpha} |\xi|^\alpha$. Тогда

$$f^*[\zeta] = \sup_{\xi} (\langle \xi, \zeta \rangle - \frac{1}{\alpha} |\xi|^\alpha) = \frac{1}{\beta} |\zeta|^\beta \tag{73}$$

В этом случае, в соответствии с (72), лагранжиану

$$L(s_b, s) = \frac{1}{\alpha} |\mathbf{K}_b[s]|^\alpha \quad (\alpha \geq 1)$$

$$\mathbf{H}(s_b, h) = \frac{1}{\beta} |\mathbf{K}_b^\circ[h]|^\beta \quad (\beta \geq 1), \text{ причем } 1/\alpha + 1/\beta = 1.$$

В частности, если $\alpha = \beta = 2$, то $f[\xi] = \frac{1}{2} |\xi|^2$, $f^*[\zeta] = \frac{1}{2} |\zeta|^2$, и функции $\frac{1}{2} (\mathbf{K}_b[s])^2$ и $\frac{1}{2} (\mathbf{K}_b^\circ[h])^2$ являются сопряженными. Именно этот случай соответствует рассмотренной выше двойственности (54) и (63) в финслеровом пространстве:

$$(\mathbf{K}_b[s])^2 = \sum_i \sum_j g_{i,j}(s_b, s) s^i s^j \tag{74}$$

$$\text{и } (\mathbf{K}_b^\circ[h])^2 = \sum_i \sum_j g^{i,j}(s_b, h) h_i h_j \tag{75}$$

Приведенные формулы позволяют получить решение для ряда задач, связанных с многоканальными моделями. При этом будут использоваться известные свойства операций над сопряженными функциями.

Пусть $\Psi: \mathbb{S} \rightarrow \tilde{\mathbb{S}}$ – линейный непрерывный оператор, соответствующий препроцессору, $\mathbf{F}[s]$ – пороговый функционал, заданный на пространстве \mathbb{S} , $\mathbf{G}[\tilde{s}]$ – решающий функционал, заданный на пространстве $\tilde{\mathbb{S}}$. По определению

$$(\mathbf{G}\Psi)[s] = \mathbf{G}[\Psi[s]] \quad (76)$$

$$(\Psi\mathbf{F})[\tilde{s}] = \inf(\mathbf{F}[s] \mid s \in \mathbb{S}, \Psi[s] = \tilde{s}) \quad (77)$$

Тогда

$$((\Psi\mathbf{F})[\tilde{s}])^* = (\mathbf{F}^*\Psi^*)[\tilde{h}] = \mathbf{F}^*(\Psi^*[\tilde{h}]) \quad (78)$$

где $\Psi^*: \tilde{\mathbb{H}} \rightarrow \mathbb{H}$ – сопряженный оператор.

Если же \mathbf{G} – выпуклая функция, непрерывная в некоторой точке множества $Im \Psi$, то $((\mathbf{G}\Psi)[s])^* = (\Psi^*\mathbf{G}^*)[h] =$

$$= \inf(\mathbf{G}^*[\tilde{h}] \mid \tilde{h} \in \tilde{\mathbb{H}}, \Psi^*[\tilde{h}] = h) \quad (79)$$

Пусть $\mathbf{N}[\tilde{s}] = \mathbf{N}[\Psi[s]]$ – калибровочная функция на пространстве $\tilde{\mathbb{S}}$. Пороговая функция $\mathbf{F}[s] = f[\mathbf{N}[\Psi[s]]]$ является калиброподобной. Тогда, в соответствии с (79) и (72)

$$\mathbf{F}^*[h] = \inf(f^*[\mathbf{N}^*[\tilde{h}]] \mid \tilde{h} \in \tilde{\mathbb{H}}, \Psi^*[\tilde{h}] = h) \quad (80)$$

Если существует обратный оператор $(\Psi^*)^{-1}$, то решение упрощается:

$$\mathbf{F}^*[h] = f^*[\mathbf{N}^*[(\Psi^*)^{-1}[h]]] \quad (81)$$

С помощью полученного выражения, используя сопряженную функцию (73), вновь легко можно доказать, что калибровочные функции (38) и (41) являются полярными.

Применим этот же формализм для анализа многоканальных моделей с конечным набором линейных каналов с весовыми функциями $h_i \in \mathbb{H}$, $i = 1, 2, \dots, N$, и сложным решающим правилом, описываемым калибровочной функцией $\mathbf{N}[\tilde{s}]$.

Пусть задан набор векторов $h_j \in \mathbb{H}$ ($j = 1, 2, \dots, N$). Рассмотрим оператор $\Psi: \mathbb{S} \rightarrow \tilde{\mathbb{S}}$ являющийся отображением пространства \mathbb{S} на конечномерное пространство $\tilde{\mathbb{S}} = \mathbb{R}^N$ с элементами $\tilde{s} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N\} \in \tilde{\mathbb{S}}$, причем $\xi_i = \langle s, h_i \rangle$.

Отметим, что ядро оператора Ψ совпадает с аннулятором линейной оболочки множества векторов \mathbf{h}_i : $s \in \text{Ker } \Psi \Leftrightarrow \forall i: \langle s, \mathbf{h}_i \rangle = 0$

Билинейная форма, задаваемая выражением $\sum_{i=1}^N \zeta_i \zeta_i = \langle \tilde{s}, \tilde{\mathbf{h}} \rangle$,

где $\tilde{\mathbf{h}} = \{\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_N\} \in \tilde{\mathbb{H}}$, приводит пространство $\tilde{\mathbb{S}}$ в двойственность с сопряженным конечномерным пространством $\tilde{\mathbb{H}}$. Согласно определению сопряженного оператора (29),

$$\langle \Psi[s], \tilde{\mathbf{h}} \rangle = \sum_{i=1}^N \langle s, \mathbf{h}_i \rangle \zeta_i = \left\langle s, \sum_{i=1}^N \zeta_i \mathbf{h}_i \right\rangle = \langle s, \Psi^*[\tilde{\mathbf{h}}] \rangle$$

откуда $\Psi^*[\tilde{\mathbf{h}}] = \sum_{i=1}^N \zeta_i \mathbf{h}_i$.

Подставим полученное выражение в (80):

$$\mathbf{F}^*[\mathbf{h}] = \inf \left(f^*[\mathbf{N}^*[\tilde{\mathbf{h}}]] \mid \sum_{i=1}^N \zeta_i \mathbf{h}_i = \mathbf{h} \right) \quad (82)$$

Следует отметить, что этим выражением можно пользоваться только для векторов \mathbf{h} , принадлежащих линейной оболочке \mathbf{h}_i . В противном случае $\mathbf{F}^*[\mathbf{h}] = \infty$.

Если вектора \mathbf{h}_i линейно независимы, то компоненты ζ_i вектора $\tilde{\mathbf{h}}$ в (82) однозначно определены и выражаются через элементы $s_i \in \mathbb{S}$ биортогонального базиса: $\zeta_i = \langle s_i, \mathbf{h}_i \rangle$. Отсюда немедленно следуют, как частный случай, полученные выше соотношения (30) и (31) («векторная» модель).

Инфимальной конволюцией называется операция

$$\mathbf{F}[s] = \bigoplus_i \mathbf{F}_i[s] = \inf \left(\sum_i \mathbf{F}_i[s'_i] \mid \sum_i s'_i = s \right) \quad (83)$$

Имеют место следующие соотношения (Июффе, Тихомиров, 1968):

$$\left(\bigoplus_i \mathbf{F}_i[s] \right)^* = \sum_i \mathbf{F}_i^*[h] \quad (84)$$

Если \mathbf{F}_i – выпуклые функции, и выполняется еще ряд несущественных дополнительных условий, то $\left(\sum_i \mathbf{F}_i[s] \right)^* = \bigoplus_i \mathbf{F}_i^*[h]$ (85)

Эти формулы позволяют получить решение для важного класса многоканальных моделей с пороговыми функционалами вида

$$\mathbf{F}[s] = \sum_i \mathbf{F}_i[s] = \sum_i f[\langle s, \mathbf{h}_i \rangle] \quad (86)$$

где $\{h_i \in \mathbb{H}\}$ – набор линейно независимых векторов, а f – выпуклая функция одной переменной. Для того, чтобы функция $F[s]$ была калибropодобной, должно удовлетворяться условие $F[s] = f[\mathbf{K}[s]] = \sum_i f[\langle s, h_i \rangle]$.

В соответствии с (85) и (83), сопряженная функция вычисляется по формуле

$$\mathbf{F}^*[h] = \inf \left(\sum_i \mathbf{F}_i^*[h'_i] \mid \sum_i h'_i = h \right) \quad (87)$$

где, согласно (68), $\mathbf{F}_i^*[h'_i] = \sup_s (\langle s, h'_i \rangle - f[\langle s, h_i \rangle])$

Для того чтобы выполнялось условие $\mathbf{F}^*[h] < \infty$, необходимо выбрать такие h'_i , что $\mathbf{F}_i^*[h'_i] < \infty$. Это возможно только если $h'_i = \zeta_i h_i$, т.е. вектор h принадлежит линейной оболочке векторов h_i . Тогда

$$\sup_s (\zeta_i \langle s, h_i \rangle - f[\langle s, h_i \rangle]) = \sup_{\xi_i} (\xi_i \zeta_i - f[\xi_i]) = f^*[\zeta_i] \quad (88)$$

и, следовательно,

$$\mathbf{F}^*[h] = \inf \left(\sum_i f^*[\zeta_i] \mid \sum_i \zeta_i h_i = h \right) \quad (89)$$

Это выражение может быть упрощено (аналогично (82)), если существует биортогональный базис:

$$\mathbf{F}^*[h] = \sum_i f^*[\langle s_i, h \rangle] \quad (90)$$

Из полученных выражений (86), (90) легко можно снова получить, как частный случай, соотношения (30), (31) для «векторной модели».

—

Итак, мы показали, основываясь на геометрическом подходе, что представление процессов различения с помощью линейной многоканальной модели эквивалентно переходу в сопряженное гамильтоново пространство. Можно сделать вывод, что аппарат выпуклого анализа оказался хорошо приспособленным для того, чтобы с единой точки зрения обсуждать и сравнивать различные сложные модели сенсорного различения. Однако, и выпуклый анализ, и гамильтонова механика являются достаточно продвинутыми разделами математики. В данной работе была предпринята попытка изложить математическую теорию так, чтобы она могла использоваться как удобное средство анализа психологами и психофизиологами, не обладающими фундаментальной математической подготовкой.

Можно надеяться, что в дальнейшем в терминах предложенного формализма будут сформулированы какие-либо экстремальные

принципы, которым подчиняется поведение сенсорной системы. Аналогичный путь проделала классическая механика, перейдя от описания поведения динамических систем в терминах дифференциальных уравнений (чему соответствует уравнение Фехнера в психофизике) к лагранжеву и гамильтонову описанию. Именно переход к гамильтонову формализму явился предпосылкой к пересмотру многих фундаментальных представлений в классической физике и созданию квантовой механики. Психофизике, возможно, подобный путь также предстоит пройти.

Предлагаемый геометрический подход позволяет по-новому взглянуть на задачи экспериментальной сенсорной психофизики. Например, при исследовании зрительного анализатора становится очевидным, что основной акцент исследований должен переместиться с изучения и сравнения конкретных моделей, и споров о том, какие простые изображения лучше всего выбирать в качестве примитивов (полосы, края, синус-решетки и пр. – вспомним длительную дискуссию о зрении как Фурье-анализаторе). Вместо этого необходимо экспериментально изучать геометрические свойства подпороговых множеств. В частности, до сих пор открытым остается вопрос об их выпуклости.



Данная работа в значительной мере опирается на результаты, полученные под руководством А. Д. Логвиненко в Проблемной лаборатории восприятия Факультета психологии МГУ в 1980–1990 гг. Они были опубликованы в работах (Dubrovsky, Logvinenko, 1984; Дубровский, 1984; Дубровский, 1985; Логвиненко, 1985). К сожалению, итоговая работа (Дубровский, Логвиненко, 1991), сданная в Издательство Академии наук, так и не была напечатана.

Автор хотел бы выразить благодарность А. Д. Логвиненко, а также всем сотрудникам лаборатории восприятия и, в особенности, А. В. Гарусеву за плодотворные обсуждения и ценные рекомендации.

ЛИТЕРАТУРА

- Дубровский В. Е. Формальная модель детекции в зрительной системе // сб. «Анализ сложных информационных систем», часть 1, М., 1984, 41–44.
- Дубровский В. Е. Дифференциальная геометрия и зрительное восприятие // тезисы докладов всесоюзного симпозиума «Зрение организмов и роботов». Вильнюс: 1985, т. 2, с. 46–47.
- Дубровский В. Е., Логвиненко А. Д. Локальная геометрия зрения // неопубликованная работа. М., 1991.
- Иоффе А. Д., Тихомиров В. М. Двойственность выпуклых функций и экстремальные задачи // Успехи математических наук, 1968, т. 13, с. 51–116.

- Иоффе А. Д., Тихомиров В. М. Теория экстремальных задач. М.: Наука, 1974.
- Канторович Л. В., Акилов Г. П. Функциональный анализ. М.: Наука, 1984.
- Логвиненко А. Д. Чувственные основы восприятия пространства. М., МГУ, 1985.
- Робертсон А., Робертсон В. Топологические векторные пространства. М.: Мир, 1967.
- Рунд Х. Дифференциальная геометрия финслеровых пространств. М.: Наука, 1981.
- Рокафеллар Р. Выпуклый анализ. М.: Мир, 1973.
- Шефер К. Топологические векторные пространства. М.: Мир, 1971.
- Экланд И., Темам Р. Выпуклый анализ и вариационные проблемы. М.: Мир, 1979.
- Braddick O., Campbell F. W., Atkinson J. Channels in vision: Basic aspect // Handbook of Sensory Physiology, Vol. VIII, "Perception" / Edited by Held R., Leibowitz H. W. and Teuber H.-L. Berlin, Springer Verlag, 1978, p. 3–38.
- Campbell F. W., Robson J. G. Application of Fourier analysis to the visibility of gratings // J. Physiol., 1968, v. 197, p. 551–566.
- Campbell F. W., Carpenter R. H. S., Levinson J. Z. Visibility of aperiodic patterns compared with that of sinusoidal gratings // J. Physiol., 1969, v. 204, p. 283–298.
- DeValois R. L., DeValois K. K. Spatial vision // Ann. Rev. Psychol., 1980, v. 31, p. 309–341.
- Fleck H.-J. Measurement and modeling of peripheral detection and discrimination thresholds // Biol. Cybernetics., 1989, v. 61, 437–446.
- Dubrovsky V. E., Logvinenko A. D. Multiple-channel models and single-channel models: same or different? // Proc. of Symp. "Computational models of hearing and vision", Tallinn, Nov. 19–21, 1984, 73–76.
- Dzhafarov E. N., Colonius H. Fechnerian metrics in unidimensional and multidimensional stimulus spaces // Psychonomic Bulletin and Review, 1999, v. 6, p. 239–268.
- Dzhafarov E. N., Colonius H. Multidimensional Fechnerian scaling: Basics // Journal of Mathematical Psychology, 2001, v. 45, p. 670–719.
- Graham N., Nachmias J. Detection of grating patterns containing two spatial frequencies: a comparison of single-channel and multiple-channels models // Vision Res., 1971, v. 11, p. 251–259.
- Graham N. Visual detection of aperiodic spatial stimuli by probability summation among narrowband channels // Vision Res., 1977, v. 17, p. 637–652.
- Graham N., Robson J. G., Nachmias J. Grating summation in fovea and periphery // Vision Res., 1978, v. 18, 815–825.
- Graham N. Spatial-frequency channels in human vision: Detecting edges without edge detectors // Visual Coding and Adaptability / Edited by C. S. Harris. Hillsdale, New Jersey. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1980, p. 215–262.

- Graham N. The visual system does a crude Fourier analysis of patterns // SIAM-AMS Proceeding, 1981, v. 13, p. 1–16.
- Graham N. Detection and identification of near-threshold visual patterns // J. Opt. Soc. Amer., 1985, v. A2, p. 1468–1482.
- Graham N., Robson J. G. Summation of very close spatial frequencies: The importance of spatial probability summation // Vision Res., 1987, v. 27, p. 1997–2007.
- Hauske G. Adaptive filter mechanisms in human vision // Kybernetik, 1974, v. 16, 227–237.
- Hauske G., Wolf W., Lupp U. Matched filters in human vision // Biol. Cybern., 1976, v. 22, p. 181–188.
- Hauske G., Lupp U., Wolf W. Matched filters. – A new concept in vision // Photogr. Sci. and Eng., 1978, v. 22, p. 59–64.
- Julesz B., Schumer R. A. Early visual perception // Ann. Rev. Psychol., 1981, v. 32, p. 575–627.
- Kelly D. H. Visual responses to time-dependent stimuli. II. Single-channel model of the photopic visual system // J. Opt. Soc. Amer., 1971, v. 51, p. 747–754.
- King-Smith P. E., Kulikowski J. J. The detection of gratings by independent activation of line detectors // J. Physiol., 1975, v. 247, p. 237–271.
- Koenderink J. J., van Doorn A. J. Detectability of power fluctuations of temporal visual noise // Vision Res., 1978, v. 18, p. 191–195.
- Krantz D. H. Color measurement and color theory: I. Representation theorem for Grassmann structures // J. Math. Psychol., 1975, v. 12, p. 283–303.
- Kulikowski J. J., King-Smith P. E. Spatial arrangement of line, edge and grating detectors revealed by subthreshold summation // Vision Res., 1973, v. 13, p. 1455–1478.
- Limb J. O., Rubinstein C. B. A model of threshold vision incorporating inhomogeneity of the visual field // Vision Res., 1977, v. 17, p. 571–584.
- Logvinenko A. D. Lack of convexity of threshold curves for compound grating: implications for modelling visual pattern detection // Biol. Cybern., 1993, v. 70, p. 55–64.
- Logvinenko A. D. On deriving analyser characteristics from summation-at-threshold data // Biol. Cybern., 1995, v. 73, p. 547–552.
- Logvinenko A. D. Convexity of a set of subthreshold stimuli implies a peak detector // Spatial Vision, 1996, v. 10, p. 105–123.
- Logvinenko A. D. On cardinal directions in spatial pattern space and falsifying multi-channel detection models // Spatial Vision, 1996, v. 10, p. 189–200.
- Logvinenko A. D. Method of quadratic approximation: A new approach to identification of analysers and channels in human vision // J. Math. Psychol., 2003, v. 47, p. 495–506.
- MacLeod I. D. G. and Rosenfeld A. The visibility of gratings: spatial frequency channels or bar-detecting units? // Vision Res., 1974, v. 14, p. 909–915.

- Mostafavi H., Sakrison D.J.* Structure and properties of a single channel in the human visual system // *Vision Res.*, 1976, v. 16, 957–968.
- Mullins W.W.* Convexity theorem for subthreshold stimuli in linear models of visual contrast detection // *J. Opt. Soc. Amer.*, 1978, v. 68, 456–459.
- Quick R.F., Jr.* A vector-magnitude model of contrast detection // *Kybernetik.*, 1974, v. 16, 65–67.
- Quick R.F., Jr., Reichert T.A.* Spatial-frequency selectivity in contrast detection // *Vision Res.*, 1975, v. 15, 637–643.
- Quick R.F., Jr., Mullins W.W., Reichert T.A.* Spatial summation effects on two-component grating thresholds // *J. Opt. Soc. Amer.*, 1978, v. 68, 116–121
- Rashbass C.* The visibility of transient changes of luminance // *J. Physiol.*, 1970, v. 210, 165–186.
- Rashbass C.* Unification of two contrasting models of the visual incremental threshold // *Vision Res.*, 1976, v. 16, 1281–1283.
- Roberts A.W., Varberg D.E.* Convex functions. New York et al., Acad. Press, 1973.
- Robson J.G.* Neural images: The physiological basis of spatial vision // *Visual Coding and Adaptability* / Edited by C. S. Harris. Hillsdale, New Jersey. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1980, pp. 177–214.
- Robson J.G., Graham N.* Probability summation and regional variation in contrast sensitivity across the visual field // *Vision Res.*, 1981, v. 21, 409–418.
- Roufs J.A.* Dynamic properties of vision. I–II // *Vision Res.*, 1972, v. 12, 261–292.
- Sachs M.B., Nachmias J., Robson J.G.* Spatial-frequency channels in human vision // *J. Opt. Soc. Amer.*, 1971, v. 61, 1176–1186.
- Sekuler R.* Spatial vision // *Ann. Rev. Psychol.*, 1974, v. 25, 195–232
- Shapley R.M., Tolhurst D.J.* Edge detectors in human vision // *J. Physiol.*, 1973, v. 229, 165–183.
- Thomas J.P.* Model of the function of receptive fields in human vision // *Psychol. Rev.*, 1970, v. 77, 121–134.
- Thomas J.P., Gille J.* Bandwidths of orientation channels in human vision // *J. Opt. Soc. Amer.*, 1979, v. 69, 652–660.
- Thomas J.P.* Detection and identification: How are they related? // *J. Opt. Soc. Amer.*, 1985, v. 2, 1457–1467.
- Watson A.B., Nachmias J.* Patterns of temporal interaction in the detection of gratings // *Vision Res.*, 1977, v. 17, 893–902.
- Watson A.B.* Probability summation over time // *Vision Res.*, 1979, v. 19, 515–522.
- Watson A.B.* Summation of grating patches indicates many types of detect at one retinal location // *Vision Res.*, 1982, v. 22, 17–25.
- Wilson H.R., Bergen J.R.* A four mechanism model for threshold spatial vision // *Vision Res.*, 1979, v. 19, 19–32.
- Wilson H.R., Gelb D.J.* Modified line-element theory for spatial frequency and width discrimination // *J. Opt. Soc. Amer.*, 1984, v. A1, 124–131.

ГЛАВА 6

АЛЬБЕДО-ГИПОТЕЗА В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕОРИЙ ВОСПРИЯТИЯ СВЕЛОТЫ

Вопрос о том, как человек видит окружающий его сложный мир, имея лишь его неоднозначное двумерное отображение на сетчатке, остается сегодня не менее актуальным, чем столетие назад, и по-прежнему не имеет точного ответа.

С потерей трехмерности неоднозначной становится информация о форме объекта, если считать таковой форму его проекции на сетчатку. Очевидно, что форма проекции изменяется в зависимости от угла, под которым рассматривается объект. Так, трапецевидную форму может иметь проекция как трапеции, так и наклоненного прямоугольника. Множество возможных интерпретаций имеет и информация о размере (величина проекции объекта на сетчатку), которая по законам геометрии зависит от расстояния от объекта до плоскости проецирования.

Еще более запутанно обстоит дело с цветом поверхности, в частности (и в особенности!), с ахроматической бело-серо-черной гаммой. Воспринимаемый ахроматический цвет поверхности принято называть *светлотой* (*lightness*). Информацию о коэффициенте отражения (*альбедо*) поверхности несет интенсивность светового потока, отраженного этой поверхностью и попадающего в глаз, или *яркость* (*brightness*). Однако, по законам оптики, значение яркости поверхности определяется не только коэффициентом отражения, но и интенсивностью падающего освещения, а также другими факторами, поглощающими или рассеивающими свет на пути от поверхности до наблюдателя (например, темные очки или туман). Белая поверхность в темной комнате может отражать в десятки раз менее интенсивный свет, чем черная на ярком солнце.

Более того, есть достаточно оснований утверждать, что зрительная система анализирует не абсолютное значение яркости в каждой точке, а отношения яркостей граничащих друг с другом участков. Однако информация о перепадах яркости соседних участков может быть многозначна: перепад по яркости может быть связан с границей по освещению или с границей по цвету. Подобная многозначность может быть решена только в комплексной сцене, в которой присутствует информация о третьем измерении. Приведем конкретный пример. На рисунке 1 изображен так называемый «тестовый куб» (*checker-block*) – параллелепипед, состоящий из четырех кубиков с двумя разными коэффициентами отражения, расположенных в шахматном порядке. На тестовый куб падает свет, неравномерно освещая его разные стороны. В реальности правая грань светлого верхнего кубика и верхняя грань правого темного кубика имеют одинаковую яркость. Выделенные пограничные участки также имеют одинаковую яркостную конфигурацию, как это видно на правой части рисунка. Локальная интерпретация плоской проекции каждого из этих участков привела бы к их полному отождествлению. Однако в целостной картинке левый кубик воспринимается светлым, а правый – темным. При этой левый пограничный участок выглядит границей по цвету, а правый – по освещению.

Тем не менее, несмотря на все обозначенные сложности, каждый из нас в обычных повседневных условиях настолько легко справляется с задачей адекватного восприятия размеров, форм и окрасок окружающих предметов, что даже не задумывается о том, что константность восприятия мира может представлять собой серьезную научную проблему. Как же осуществляется процесс построения зрительного образа? Имеется ли в плоском сетчаточном отображении вся необходимая для адекватного восприятия информация?

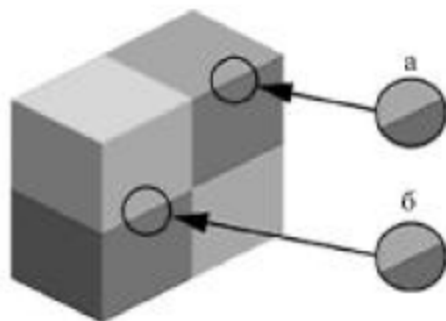


Рис. 1. Перепады по яркости на выделенных локальных участках одинаковы. Однако верхний (а) связан с перепадом по освещению, а нижний (б) – с перепадом по цвету (по: Adelson, 2000)

Или зрительная система реконструирует трехмерное пространство и на основании неких внутренних правил выстраивает целостный образ восприятия? В последних двух вопросах намечаются два основных подхода к проблеме константности восприятия.

Проблематика константности светлоты стала предметом изучения в XIX в. в работах Е. Геринга (1874) и Г. Гельмгольца (1867). Если Геринг в объяснении константности опирался на процессы «нижнего уровня», происходящие на сетчатке (в дальнейшем нашедшие подтверждение в открытии физиологических механизмов латерального торможения), то в теории Гельмгольца были задействованы как раз «высшие процессы» – бессознательные умозаключения о том или ином параметре образа, основанные на опыте и представлениях о закономерностях внешнего мира. Обе теории получили широкое развитие во второй половине XX в.

На базе теории Геринга сформировался ряд концепций, объединенных так называемым принципом отношений. Константность восприятия светлоты поверхности при разном освещении обусловлена одинаковым отношением яркостей поверхностей друг к другу.

Ретинексная модель Лэнда и Маккенна (Land, McCann, 1971) фактически стала результатом исследования в этом направлении. Рассмотрев характер изменений яркости в окружающем мире, они констатировали, что цвет поверхности внутри участка, как правило, является постоянным, в то время как освещенность может плавно изменяться. Вычисляя пространственную производную функцию яркости, зрительная система может дифференцировать резкие границы яркости, свидетельствующие об изменении светлоты (высокое значение производной) и плавные переходы освещенности (низкие значения производной). Убедительной демонстрацией того, как зрительная система воспринимает резкие и плавные перепады яркости, является иллюзия Крэйка–О’Брайена–Корнсуита (рисунок 2). На рисунке 2 изменение яркости представлено по пилообразному закону, причем оно одинаково и для правой, и для левой частей рисунка. Однако мы не воспринимаем эти квадраты как одинаковые. Напротив, нам кажется, что левый квадрат – темно-серый, а правый – светло-серый. Резкий перепад яркости в центре рисунка «интерпретируется» зрительной системой как изменение светлоты, в соответствие с такой интерпретацией и происходит «заливка» полей справа и слева от границы. Тогда как медленное изменение яркости от центра к краям рисунка почти не воспринимается (Cornsweet, 1970).

В рамках этого направления были сформулированы правила, позволяющие на основе относительных величин яркости оцени-



Рис. 2. Иллюзия Крэйка–О’Брайена–Корнсуита. Правый и левый квадраты воспринимаются как светло-серый и темно-серый на основании информации о резкой границе по яркости

вать светлоту той или иной поверхности. В начале 70-х годов (Land, McCann, 1971; Wallach, 1976) было сформулировано *правило максимальной яркости (Highest Luminance Rule)*, которое гласило: участок с максимальной яркостью принимается за белый и служит основой (*эталоном или якорем – anchor*) для оценки других оттенков серого. На иное правило (*Average Luminance Rule*) опирался Nelson (1964): средняя яркость в зрительном поле принимается как средне-серый и является точкой отсчета. Land (1983) также пришел к этому правилу в более поздней версии «ретиноксной» модели.

Неожиданное направление развития в 1960–1970-е годы получила теория Гельмгольца. Правда, сам термин «бессознательные умозаключения» немного отошел на второй план, однако исходный постулат о существовании неких выученных в опыте правил, связывающих перцептивные параметры образа и позволяющих реконструировать один из них на основе гипотезы о другом, по-прежнему принимался за основу. Собственно двумя направлениями развития (во многом предполагающими друг друга) стали выросшая из моделей компьютерного зрения теория *intrinsic image* (наиболее точный перевод – *модель вложенных уровней образа*) и *гипотеза перцептивных взаимодействий (percept-percept coupling)* в восприятии. Иначе ее называют *гипотеза инвариантных соотношений*.

Модели вложенных уровней образа предполагают выделение в зрительном образе нескольких уровней (слоев, паттернов), т. е. «расслоение» паттерна распределения яркости на паттерны светлоты, освещенности, 3-мерной формы и т. д. (Bergström, 1977; Gilchrist, 1977; Barrow, Tenenbaum, 1978; Arend, 1994).

Рассмотрим все тот же тестовый куб (checker-block), но в другом аспекте (рисунок 3). На верхней части рисунка 3 представлен исход-

ный образ. Участки **а** и **б** имеют одну и ту же яркость, в которой представлена информация и о светлоте поверхности, и о ее освещенности. Если на основе некоторых правил произвести расслоение исходного образа на два – образ распределения светлоты и освещенности (1 и 2 на нижней части рисунка), то такое преобразование позволяет выделить в образе информацию о светлоте. При этом участок **а**, как видно из нижних иллюстраций, воспринимается темно-серым, но его освещенность высока, в то время как участок **б** воспринимается светлым, но с низкой освещенностью. Таким образом, выделение уровней светлоты, освещенности, формы и их последующее соотношение позволяет получить целостный адекватный образ.

В качестве механизма, позволяющего вычленять уровни образа, в конце 1970-х годов Гилкристом была предложена теория классификации границ (Gilchrist, 1977, 1979; Gilchrist, Delman, Jacobsen, 1983), согласно которой зрительная система дифференцирует границы яркостей на границы светлоты и границы освещенности. В результате раздельной интеграции яркостных отношений на границах светлоты и на границах освещенности получают два паттерна распределения светлоты и освещенности соответственно.

Модели вложенных уровней образа имплицитно предполагали наличие некоторых правил, связующих параметры разных уровней в целостный образ. Системой таких правил могли являться инва-

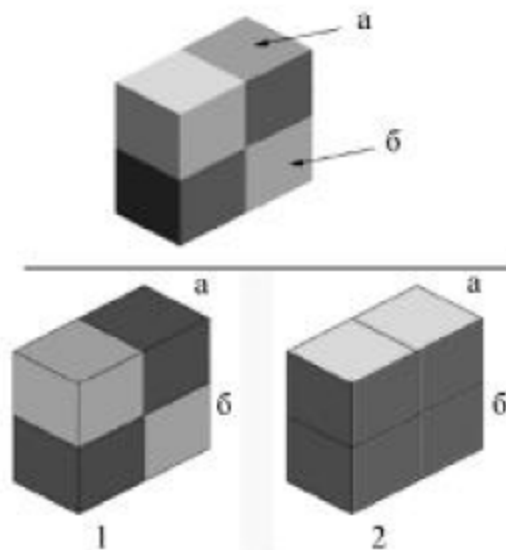


Рис. 3. Выделение в образе «вложенных уровней» светлоты и освещенности. 1 – паттерн («вложенный уровень») светлоты; 2 – паттерн («вложенный уровень») освещенности (по: Adelson, 2000)

риантные соотношения между различными параметрами, такими как «видимая удаленность – видимый размер»; «видимая форма – видимый наклон» или применительно к нашему случаю «светлота – воспринимаемая освещенность поверхности». Последнее соотношение известно как *альбедо-гипотеза*. Были проведены многочисленные экспериментальные исследования, подтвердившие гипотезу об инвариантных соотношениях между видимой дистанцией и видимым размером (Kilpatrick, Ittelson, 1953; Epstein et al., 1961; Gogel, 1971), светлотой и воспринимаемой освещенностью (Beck, 1972; Logvinenko, Menshikova, 1994; Меньшикова, Лунякова, 1996), видимой формой и видимым наклоном объекта (Beck, Gibson, 1955; Epstein, Park, 1963), отношение видимой скорости и видимой удаленности (Rock, Hill, Fineman, 1968) и др. Согласно гипотезе перцептивных взаимодействий, образ восприятия «конструируется» на основе, во-первых, неадекватной и многозначной сенсорной информации и, во-вторых, вероятностной, приобретенной в опыте модели внешнего мира. Сенсорная информация трактуется при наличии вероятностной гипотезы об одном из двух (или нескольких) взаимосвязанных воспринимаемых параметров.

Рассмотрим наиболее иллюстративный пример константности восприятия размера. Будем считать зрительный угол объекта сенсорным параметром его размера. Величина этого угла зависит и от размера объекта, и от его расстояния до наблюдателя. Используя неоднозначный зрительный угол, а также признаки удаленности, зрительная система «выдвигает» гипотезу о дистанции до объекта, тогда перцептивное уравнение легко разрешается относительно воспринимаемого размера. Известная демонстрация Эймса (Грегори, 1970) с восприятием роста человека в неправильной по форме комнате наглядно показывает действие этого соотношения. Комната имеет вид трапеции, однако зрительные признаки (форма окон, рисунок пола, круглые часы на стене) специально подобраны по форме такими, чтобы создать иллюзию комнаты, имеющей обычную прямоугольную форму. В этих условиях видимая удаленность людей, стоящих в дальнем и ближнем углу, кажется одинаковой. Но поскольку зрительные углы различаются, видимый размер (рост человека) также изменяется в соответствии с правилом перцептивного взаимодействия: экспериментально показано, что он уменьшается во столько раз, во сколько раз увеличивается видимая удаленность.

Аналогичным образом можно рассуждать и о восприятии светлоты. Сенсорным параметром является субъективная яркость участка поверхности, а двумя связанными между собой перцептивными параметрами являются воспринимаемая освещенность и светлота.

Чтобы вынести суждение о светлоте, зрительной системе необходимо выдвинуть гипотезу о воспринимаемой освещенности. Наши экспериментальные исследования 1994–1997 гг. (Меньшикова, Лунякова, 1996; Menshikova, Lunyakova, 1997) показали, что человек способен к отдельной оценке освещенности и светлоты в зрительной сцене, и инвариантное соотношение между этими перцептивными параметрами действительно существует. Однако и наше исследование, и результаты исследований других авторов (Bergström, 1977; Gilchrist, 1977) продемонстрировали не менее тесную взаимосвязь воспринимаемой освещенности поверхности с трехмерной формой (или пространственной конфигурацией) зрительной сцены. Действительно, в окружающем нас мире различия в освещенности, как правило, обусловлены разницей в пространственном расположении поверхностей относительно источника света (границ куба, разная удаленность от источника) или относительно друг друга (один объект отбрасывает тень на другой). В то же время существуют феномены, называемые *shape-from-shading* (буквально – форма из тени), в которых изображение тени на рисунке порождает иллюзию трехмерности формы изображаемых объектов (рисунок 4).

Изображение теней на плоских рисунках дает информацию только о местонахождении источника освещения и о форме самого объекта. Возникает вопрос: возможно ли в двумерном изображении дать информацию об освещении? Ведь именно гипотеза об интенсивности освещения позволяет, согласно гипотезе перцептивных взаимодействий, «вычислить» светлоту поверхности.

Поиски признаков воспринимаемой освещенности (по аналогии с признаками воспринимаемой дистанции) показали, что оценка

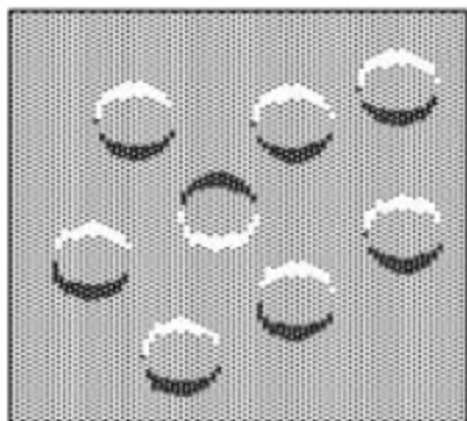


Рис. 4. Феномен формы из тени

освещенности как таковая весьма затруднена, а некоторые авторы (Rutherford, Brainard, 2002) считают, что и невозможна. Впрочем, эксперимент, поставленный Рутенфордом и Брайнардом с целью опровергнуть альbedo-гипотезу и продемонстрировать невозможность оценки освещенности подтверждает лишь тот факт, что подобная оценка невозможна в условиях полной редукции трехмерности (монокюлярное наблюдение, плоский экран). В любом случае, видимо, мы вынуждены усложнить альbedo-гипотезу, вводя, как обязательный, третий параметр в перцептивное взаимодействие – «трехмерная форма – светлота – воспринимаемая освещенность». Книлл и Керстен (Knull, Kersten, 1991) предложили интересную демонстрацию, в которой информация о трехмерной форме позволяет интерпретировать перепады по яркости как изменения освещенности. Оригинальность этой демонстрации состоит в том, что они дополнили иллюзию Крэйка–О’Брайена–Корнсуита (см. рисунок 2) признаками трехмерной формы. В первом варианте (рисунок 5а) плоский иллюзорный паттерн был «натянут» на форму цилиндра, а во втором (рисунок 5б) – на форму куба. Как видно из рисунка 5, гипотеза о трехмерной форме объекта порождает совершенно разное восприятие светлоты. Если для кубов (рисунок 5б) иллюзия Крэйка–О’Брайена–Корнсуита сохраняется (левый куб выглядит по цвету более темным, чем правый), то для цилиндров (рисунок 5а) иллюзия практически пропадает (и левый и правый цилиндры выглядят по цвету одинаково). Представленная демонстрация может трактоваться как перцептивные взаимодействия трех параметров «трехмерная форма – светлота – воспринимаемая освещенность». Действительно, гипотетическая модель процесса «вычисления» светлоты может быть представлена следующим образом: если воспринимается форма с плоскими гранями, то резкий перепад яркости не может быть не чем иным, как перепадом по светлоте, а значит, кубы окрашены в разные цвета; если же воспринимается цилиндрическая форма, то резкий перепад интерпретируется как изменение тени в складке на стыке двух цилиндров, а значит, цилиндры одинаково серые.

Однако сложно составить соответствующее уравнение, которое описывало бы ситуацию нашего повседневного, не лабораторного, не упрощенного, а обычного зрения, даже для физических переменных. Ведь, скажем, в комнате может быть несколько источников освещения (окно, настольная лампа, люстра, экран монитора), а также отражающие и переотражающие свет поверхности (зеркала, стеклянные и просто светлые поверхности и пр.). Таким образом, не просто даже рассчитать параметры попадающего на сетчатку светового потока. Еще сложнее решить так называемую «обратную

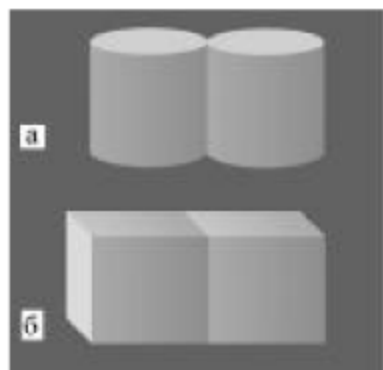


Рис. 5. Иллюзия Книлла и Керстена, демонстрирующая влияние признаков трехмерной формы на восприятие светлоты (по: Knill, Kersten, 1991)

задачу»: по двумерной картинке распределения яркости на сетчатке восстановить «исходную» трехмерную сцену. Что уж говорить об уравнении, связывающем перцептивные переменные в подобной ситуации. Такая конструкция с тремя неизвестными и незафиксированным четко правилом их взаимодействия, похоже, заводит данное направление в тупик.

«Слабость» воспринимаемой освещенности как самостоятельного перцептивного параметра вызвала немало критики в адрес моделей, выросших из теории Гельмгольца, а также стимулировала развитие новых направлений исследований. За последнее десятилетие появились и свежие экспериментальные данные, и новые, альтернативные гипотезе инвариантных соотношений и модели «intrinsic image» подходы, в рамках которых когнитивные процессы высшего уровня (в частности, взаимодействие перцептивных параметров) излишни для построения адекватного паттерна светлоты.

Таким образом, вопрос формулируется так: является ли известная формулировка альbedo-гипотезы объяснительным принципом в проблеме восприятия светлоты или лишь описывает результат этого процесса как адекватный законам, действующим во внешнем мире? Если 10 лет назад мы интерпретировали полученные результаты, как проявление механизма построения зрительного образа, то сегодня подобная интерпретация выглядит неоднозначно.

Несомненно, современные теории, позволяющие объяснить восприятие цвета поверхности без введения дополнительных объективных или субъективных конструктов, таких как 3-мерная форма объекта или воспринимаемая освещенность поверхности, выглядят чрезвычайно привлекательными и (что является их несомненным достоинством) гораздо проще операционализируемыми.

Адельсон (Adelson, 2000) предлагает рассматривать обработку зрительной информации как многоуровневый процесс. Нижний уровень (*low-level vision*) включает процессы, происходящие на сетчатке, такие как адаптация или латеральное торможение. Высший уровень (*high-level vision*) представляет собой интеграцию зрительной информации и знаний субъекта об окружающем мире в единый перцептивный образ. Промежуточный же, средний уровень (*mid-level vision*) представляет собой, по мнению Адельсона, основные процессы переработки зрительной информации, включающие такие механизмы как восприятие поверхностей, контуров, их группировку и т. д.

Восприятие ахроматического цвета поверхности, по мнению Адельсона, во многом определяется именно механизмами среднего уровня. Так, восприятие светлоты осуществляется путем интеграции количественной и пространственной информации о распределении яркости. Если определить *внешнюю передаточную функцию* (*atmospheric transfer function* (ATF)), как функцию, преобразующую коэффициент отражения поверхности в яркость светового потока, достигающего глаза человека, тогда зрительная система человека выполняет обратное преобразование через *передаточную функцию светлоты* (*lightness transfer function* (LTF)). При этом светлота определенного участка поверхности вычисляется путем сравнения его яркости с распределением яркости по соседним участкам. Адельсон не описывает конкретный алгоритм этого вычисления, однако отмечает, что на «вес» того или иного участка в процессе определения светлоты может влиять классический механизм группировки. Группировка участков в процессе построения светлотного паттерна осуществляется по специфическим механизмам, отличающимся от классической гештальтистской перцептивной группировки, однако она может также использовать такие классические факторы, как близость, сходство и хорошее продолжение и др.

Впрочем, основой процессов группировки и анализа распределения яркости является вычленение границ. Причем зрительной системе недостаточно для анализа отдельных прямых границ участков с разной яркостью. Анализ границ, по мнению Адельсона, должен осуществляться в более широком контексте. Одним из значимых источников информации является комбинация так называемых «сочленений» (*junction*), т. е. мест, где сходятся несколько (2 или более) участков с разными яркостями. Существуют различные виды подобных сочленений: X, Y, L, T, ψ и т. д. Форма сочленения может быть одним из признаков для дифференциации границ освещенности или светлоты поверхности. Определенные формы сочленений свидетельствуют об изменении ATF (наличии тени, прозрачного

препятствия и т. д.). Границы подобных сочленений с разной АТФ жестко фиксируются, и информация о яркостях участков, находящихся по разные стороны такой границы, не смешивается в обработке. Прямые границы чаще являются границами зон с разной АТФ, чем изогнутые. Анализ сочленений и последующая количественная обработка яркости осуществляется не во всем поле, а в рамках некоего «адаптивного окна». Причем, чем более простым является паттерн яркости (например, однотонный тестовый и однотонный фоновый участки), тем шире должно быть «окно», и напротив, чем более дифференцирован паттерн (например, фон в виде мондриана), тем «окно» уже.

Таким образом, согласно гипотезе Адельсона, получается, что восстановление трехмерной формы сцены и ее учет при распределении светлоты и освещенности является излишним. Вся информация содержится в двухмерной плоскости.

Еще более алгоритмизированную модель константности восприятия светлоты предложил Гилкрест с соавт. (Gilchrist et al., 1999).

Постулируя новую модель, названную теорией «якоря» (*Anchoring theory*), Гилкрест утверждает, что: во-первых, не нуждается в понятии дифференциации границ на границы освещенности и границы светлоты; во-вторых, данная модель не предполагает какого-либо влияния воспринимаемой освещенности на светлоту поверхности, т. е. механизмы восприятия ахроматических цветов не затрагивают процессов верхнего уровня.

В основе восприятия светлоты в новой теории Гилкреста лежат все те же вычисления светлоты участка на основании его относительной яркости. Однако в данном случае происходит не просто прямое сравнение одного участка с другим, а сравнение данной яркости с некоторым эталонным значением (якорем). Суть теории сводится к определению правил «якорения» для различных условий восприятия (простых и сложных стимулов, инкрементов и декрементов). Исследования Гилкреста и других авторов продемонстрировали, что в упрощенных экспериментальных условиях (мондрианы) срабатывает правило максимальной яркости, описанное нами выше. Однако оно не объясняет восприятия самосветящихся поверхностей, поэтому авторами теории было предложено так называемое правило максимальной поверхности, согласно которому из двух поверхностей за эталон белой принимается наибольшая. В дальнейшем экспериментально было показано, что в реальных условиях действует компромисс этих двух правил.

Поиск эталона в модели Гилкреста (как и вычисления светлоты по отношениям яркостей в модели Адельсона) осуществляется

на некотором ограниченном участке зрительной сцены – в рамке (*framework*). Причем границы подобной рамки определяются тем, что содержащиеся в ней участки (или поверхности) разной яркости хорошо группируются, т. е. принадлежат друг другу. Рамки могут быть локальными и глобальными. Глобальная рамка – это зрительное поле. Локальная рамка определяется не пространственными ограничениями, а законами перцептивной группировки. Причем определяющими являются не сетчаточные, а перцептивные переменные, например, воспринимаемая пространственная близость, а не близость отображений на сетчатке. Каждый участок включен в несколько рамок, как минимум, две: локальную и глобальную. Вычисление светлоты отдельного участка происходит усреднением его вычисленных по каждой рамке оценок светлоты с учетом весовых коэффициентов рамок. Чем сильнее «связанность» рамки (в ее формировании задействовано большее число принципов перцептивной группировки), чем больше ее площадь (причем не площадь сетчаточной проекции, а воспринимаемый размер!) и чем насыщеннее рамка образцами с различными значениями яркости, тем жестче осуществляется привязка яркости оцениваемого участка к эталону белого именно в данной локальной рамке.

Следует отметить, что, несмотря на претензию теории «якоря» объяснить константность светлоты без опоры на процессы верхнего уровня, очевидно, что в сами принципы выделения рамок и наделения их весовыми коэффициентами заложено восприятие трехмерных объектов, их пространственной группировки и влияния на конечный результат перцептивных параметров – видимых удаленности и размера. Получается, что гипотеза перцептивных взаимодействий как объяснительный принцип необходима для анализа процесса восприятия светлоты: если она не обсуждается как основной механизм, то присутствует опосредованно через понятия локальной и глобальной рамки.

Возникает вопрос: действительно ли гипотеза перцептивных соотношений уступает место более современным, простым и алгоритмизированным концепциям восприятия ахроматического цвета поверхности?

На наш взгляд, существуют феномены, которые сложно объяснить иначе, чем с точки зрения модели взаимодействия перцептивных параметров. В наших исследованиях (Logvinenko, Menshikova, 1994) испытуемые рассматривали сцену, в которой на белой плоскости был закреплен выпуклый конус. Конус отбрасывал треугольную тень на плоскость. В обычных условиях наблюдения все испытуемые видели более или менее густую (в зависимости от осве-

ценности) тень на белой поверхности. Но при наблюдении тестовых объектов через псевдоскоп происходило иллюзорное изменение глубины: выпуклый конус превращался в воронку на плоскости. При этом затененный участок белой поверхности невозможно было интерпретировать как тень, ведь нет объекта, который может отбрасывать тень. Тогда участку приписывались свойства другой, связанной с ним перцептивной переменной – цвета, и он воспринимался как более или менее темное серое пятно.

Данный эффект, легко интерпретируемый перцептивным взаимодействием воспринимаемой трехмерной формы с освещенностью и далее освещенности со светлотой поверхности, с позиций гипотезы Адельсона, вообще вряд ли объясним: в зрительном поле не меняется ни одно из сочленений, тем не менее возникают совершенно разные перцептивные образы. С натяжкой объясняет этот факт и теория «якоря»: возможно, после пространственной перегруппировки темный треугольник перестает попадать в одну рамку с конусом и тогда якорем для него становится лишь большая белая плоскость. Но в таком случае следует предположить, что тень как таковая все же воспринимается зрительной системой и является одним из серьезных объединяющих принципов в формировании локальных рамок.

Необходимость использовать различные механизмы для объяснения иллюзий светлоты рассматривалась в работе Логвиненко и Кейн (Logvinenko, Kane, 2004). Авторы исследовали простой и, казалось бы, давно изученный феномен светлотного одновременного контраста, включенный в различные по контексту зрительные паттерны. Один и тот же тестовый серый квадратик был включен в две различные иллюзии светлоты (иллюзия змеи и индуцированной решетки). Обе иллюзии конструировались в плоском двумерном (2D) и объемном трехмерном (3D) вариантах. Было показано, что выраженность иллюзии светлотного контраста зависит от типа иллюзии. Иллюзия индуцированной решетки не изменялась при изменении наблюдаемой сцены из 2D в 3D контекст, в то время как иллюзия змеи при тех же преобразованиях практически исчезала. На основании результатов экспериментов авторы сделали вывод о том, для разных типов иллюзий светлоты необходимо привлечение различных объяснительных механизмов, одним из которых является инвариантное соотношение воспринимаемой освещенности и светлоты.

С нашей точки зрения, восприятие светлоты поверхности является сложным процессом, в который вовлечены механизмы и правила различных уровней обработки информации. В зависимости от контекстных признаков наблюдаемой сцены в оценку светлоты

могут включаться как низшие сенсорные, так средние и высшие когнитивные уровни. Для объяснения любого воспринимаемого феномена, в том числе и феномена светлоты поверхности, вряд ли можно надеяться на какой-либо единственный подход. Скорее всего, следует рассматривать различные гипотетические механизмы, которые согласованы с задачей, решаемой в данный момент наблюдателем.

ЛИТЕРАТУРА

- Adelson E. H.* Perceptual organisation and the judgment of brightness // *Science*. 1993. 262. P. 2042–2044.
- Adelson E. H.* Lightness Perception and Lightness Illusions // *The New Cognitive Neurosciences*. 2nd ed. / M. Gazzaniga (Ed.). Cambridge, MA: MIT Press, 2000. P. 339–351.
- Arend L.* Surface Colors, Illumination, and Surface Geometry: Intrinsic-Image Models of Human Color Perception // *Lightness, Brightness, and Transparency* / A. Gilchrist (Ed.). Hillsdale: Erlbaum, 1994. P. 159–213.
- Barrow H. G., Tenenbaum J.* Recovering intrinsic scene characteristics from images // *Computer Vision Systems* / A. R. Hanson, E. M. Riseman (Eds.). Orlando: Academic Press, 1978. P. 3–26.
- Beck J., Gibson J. J.* The relation of apparent shape to apparent slant in the perception of objects // *J. Exp. Psychol.* 1955. 50. P. 125–133.
- Beck J.* Surface color perception. (Eds.). Ithaca: Cornell University Press, 1972, P. 98–109.
- Bergström S. S.* Common and relative components of reflected light as information about the illumination, colour, and three-dimensional form of objects // *Scandinavian Journal of Psychology*. 1977. 18 (3). P. 180–186.
- Cornsweet T. N.* Visual Perception. New York, NY: Academic Press, 1970.
- Epstein W., Park J., Casey A.* The current status of the size-distance hypothesis // *Psychol. Bull.* 1961. Vol. 58. P. 491–514.
- Epstein W., Park, J.* Shape constancy: functional relationships and theoretical formulations // *Psychol. Bull.* 1963. Vol. 60. 3. P. 491–514.
- Gilchrist A. L.* Perceived lightness depends on perceived spatial arrangement // *Science*. 1977. 195 (4274). P. 185–187.
- Gilchrist A. L.* The perception of surface blacks and whites // *Scientific American*. 1979. 240. P. 112–123.
- Gilchrist A. L., Delman S., Jacobsen A.* The classification and integration of edges as critical to the perception of reflectance and illumination // *Perception and Psychophysics*. 1983. 33 (5). P. 425–436.
- Gilchrist A. L., Kossyfidis Ch., Bonato F. et al.* An anchoring theory of lightness perception // *Psychological Review*. 1999. Vol. 4. № 109. P. 795–834.
- Gogel W. C.* The validity of the size-distance invariance hypothesis with cue reduction. P. & P., 1971. Vol. 9. P. 92–94.

- Helmholtz H. Von.* Handbuch der Physiologischen Optik. Leipzig: Voss, 1867.
- Helson H.* Adaptation-Level Theory. New York: Harper & Row, 1964.
- Hering E.* Outline of a theory of the light sense / L. Hurvich & D. Jameson, Trans. Cambridge: Harvard University, 1964.
- Kilpatrick F. P., Ittelson W. H.* The size – distance invariance hypothesis // Psychol. Review. 1953. 60. P. 223–231.
- Knill D., Kersten D.* Apparent surface curvature affects lightness perception // Nature. 1991. 351. P. 228–230.
- Land E. H., McCann J. J.* Lightness and retinex theory // Journal of the Optical Society of America. 1971. 61. P. 1–11.
- Logvinenko A. D., Kane J.* Hering's and Helmholtz's types of simultaneous lightness contrast // Journal of Vision. 2004. 4. P. 1102–1110.
- Logvinenko A. D., Menshikova G.* Trade-off between achromatic color and perceived illumination as revealed by the use of pseudoscopic inversion of apparent depth // Perception. 1994. 23. P. 1007–1023.
- Menshikova G., Lunyakova E.* Illuminated surface may be perceived as a shining surface // Proc. of 20-th European Conference on Visual Perception. Helsinki, 1997. Aug. 24–29. Perception. V. 25. P. 17.
- Rock I., Hill A. L., Fineman V.* Speed constancy as a function of size constancy. P. & P., 1968. Vol. 4. P. 37–40.
- Rutherford M. D., Brainard D. H.* Lightness Constancy: A Direct Test of the Illumination Estimation Hypothesis // Psychological Science. 2002. Vol. 13. No. 2. P. 142–149.
- Wallach H.* On Perception. New York: Quadrangle/The New York Times Book Co, 1976.
- Грегори Р.* Глаз и мозг. М.: Прогресс, 1970. С. 194–198.
- Меньшикова Г. Я., Луныкова Е. Г.* Перцептивное взаимодействие ахроматического цвета поверхности и ее воспринимаемой освещенности // Вестник Моск. ун-та. Сер. Психология. 1996. Вып. 1. С. 22–30.

ГЛАВА 7
ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЛЛЮЗИИ, ГЕНЕРИРУЕМЫЕ
КОМПЬЮТЕРОМ: ФЕНОМЕНЫ, МЕХАНИЗМЫ,
ДЕТЕРМИНАНТЫ

Изображения, сгенерированные компьютером, которые перед выводом на экран дисплея не были подвергнуты специальным преобразованиям, содержат различные искажения, называемые термином «алиайзинг»^{*}. Например, появляется ступенчатость линий и зазубренность на границах объектов (рисунок 1); при анимации наблюдается порывистое движение; объекты, размеры которых меньше расстояния между соседними пикселами[†], могут исчезать, а в процессе движения – мерцать на экране. Муаровый рисунок, исчезновение или искажение мелких деталей, появление цветного контура вокруг абриса объектов и многие другие нежелательные эффекты возникают в силу дискретности поверхности экрана и, соответственно, растровой развертки изображения.

Насколько выражены растровые искажения? Что лежит в их основе? В какой степени от них можно отвлечься, или, наоборот, использовать в реальных процессах деятельности человека? Для ответа на эти и подобные вопросы мы обратились к исследованию восприятия простых изображений – растровых отрезков прямой.

Иллюзия наклона растрового отрезка прямой

Несмотря на интенсивную разработку технических и программных методов улучшения качества растровых изображений, известно лишь несколько работ, в которых затрагивается *психологическая* сторона проблемы (Atherton, Caporael 1985; Booth, Bryden, Cowan, Morgan, Plante, 1987; Crow, 1977, 1981; Silverstein, Krantz,

* Алиайзинг – дефект изображения линий, связанный с дискретностью растра.

† Пиксел – минимальная единица изображения, цвет и яркость которой можно задать независимо от остального изображения.

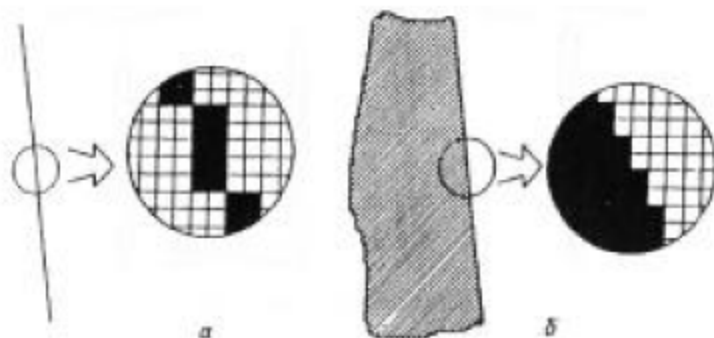


Рис. 1. Примеры растровых изображений

Gomer, Yeh, Monty, 1990; Warnock, 1980). Их анализ показывает, что: 1) исследователей преимущественно интересуют субъективная оценка качества генерируемого изображения, достоверность его формы или же эстетическая привлекательность; 2) остаются неизвестными зависимости наблюдаемых искажений от различного рода условий восприятия – как объективных, так и субъективных; 3) не изучены механизмы, лежащие в основе восприятия растровых изображений; 4) большинство экспериментов носит демонстрационный характер, а единственным испытуемым обычно является сам экспериментатор. Неслучайно главным принципом разрабатываемых систем компьютерной графики остается максимальный реализм изображения, требующий создания все более изощренных алгоритмов и громоздкого аппаратного обеспечения.

Согласно наблюдениям, наибольшие искажения претерпевают графические объекты, состоящие из прямых линий, угол наклона которых близок к вертикали/горизонтали. К таким изображениям относятся координатная сетка, рамки, линии азимута и горизонта. В частности, растровые отрезки прямых, близкие к вертикали, приобретают ступенчатость и воспринимаются как более наклонные, чем на самом деле.

Анализ проблемы алияйзинга в русле психологии и психофизиологии зрительного восприятия показывает, что переоценка наклона растрового отрезка прямой вызвана его сегментацией и является частным случаем оптико-геометрических иллюзий. В первую очередь имеется в виду иллюзия Фрезера (Fraser, 1908), согласно которой воспринимаемый паттерн, составленный из параллельно смещенных перекрывающихся сегментов, меняет действительную ориентацию в пространстве. Например, вертикально ориентированные буквы, составленные из наклонных полос, кажутся наклонными (рисунок 2).

Данный эффект сохраняется при углах наклона сегментов до 15–20°, а при больших углах «переворачивается»: паттерн воспринимается наклонным в противоположную сторону (иллюзия Цольнера).

Растровые отрезки прямой также конструируются из параллельно смещенных сегментов, правда, расположенных «стык в стык» (без перекрытия), а направление кажущегося наклона совпадает с направлением иллюзии Фрезера. Это позволяет предположить сходство механизмов растрового и оптико-геометрического эффектов и воспользоваться имеющимся знанием для объяснения воспринимаемого искажения направления линий на экране дисплея.

Известно несколько гипотез, объясняющих механизм возникновения иллюзии Фрезера: 1) наличие *латерального торможения смежных рецептивных полей*: иллюзия возникает благодаря особенностям взаимодействия между детекторами ориентации (Chiang, 1968); 2) существование *взаимодействия между детекторами с различными размерами рецептивных полей*: информация об ориентации сегментов, выделяемая полями наименьшего размера, ассимилируется рецептивными полями, которые отвечают за определение наклона всего стимула (Tyler, Nakayama, 1984); 3) участие в зрительном процессе *дирекционных элементов*: ориентация кодируется «дирекционными» элементами только на локальном уровне (Howard, 1982); 4) иллюзия возникает из-за того, что искажающие элементы воспринимаются как *составная часть или продолжение действительных элементов изображения* (Cowan, 1973); 5) иллюзия порождается «*эфферентными копиями*», связанными с движениями глаз (Festinger, White, Allyn, 1968); 6) способность зрительной системы «*раскладывать*» изображение на *фундаментальные компоненты Фурье*: иллюзия связана с особенностями частотного состава изображения (Stuart, Day, 1988). Однако ни одна из них не охватывает иллюзию Фрезера в полном объеме (Robinson, 1998).

Очевидно, что верификация гипотез на материале растровых искажений наклона требует специальных исследований.



Рис. 2. Пример иллюзии Фрезера

Прежде чем обсуждать возможные механизмы восприятия наклона растрового отрезка прямой, необходимо установить величину иллюзии и уточнить пространственно-временные условия ее возникновения.

Восприятие наклона простейшего растрового изображения

Выбирая методы исследования, мы исходили из особенностей стимульного материала и содержания задач реальной операторской деятельности. В наибольшей степени этим требованиям отвечает процедура определения угла наклона стимула методом ортогонального сравнения. Он предполагает установление отношения перпендикулярности между стимульным и подравниваемым отрезками (Stuar, Day, 1988). Чтобы сохранить валидность исследования, стимульная ситуация выводилась на растровый экран с разрешением 640×350 пикселей. Это предполагало использование методов устранения искажений при отображении эталонного и подравниваемого отрезков. Сглаживание осуществлялось с помощью методов префильтрации (Gupta, Sproull, 1981) и γ -коррекции (Tanner, Jolicoeur, Cowan, Booth, Fishman, 1989).

Исходный эксперимент был направлен на то, чтобы оценить воспринимаемую ориентацию растровых отрезков прямой в зависимости от угла их наклона.

На экране дисплея появлялись два отрезка, один из которых – стимульный – был наклонен под углом $-4 \dots +4^\circ$ относительно вертикали, а ориентация второго – подравниваемого – менялась самим испытуемым, который находился на расстоянии 50 см от экрана. Пространственные паттерны имели длину 9 см, стягивая зрительный угол около 10° . Задача испытуемого состояла в том, чтобы с помощью потенциометра установить подравниваемый отрезок перпендикулярно стимульному. В ходе эксперимента варьировался угол наклона стимульного отрезка и метод его отображения на экране дисплея (1 – стандартный алгоритм Брезенхема, приводящий к искажениям, 2 – метод префильтрации). Для каждого значения угла и типа стимула было выполнено по десять повторений. В эксперименте приняли участие 16 студентов в возрасте 17–20 лет, обладающих нормальным или скорректированным до нормального зрением.

Согласно полученным данным, растровые изображения кажутся наклоненными в ту сторону, в которую развернуты сегменты паттерна относительно идеальной ориентации. Ориентация растровых отрезков прямой воспринимается с систематической ошибкой как в области положительных, так и отрицательных углов наклона ($F = 47,6; p < 0,001$).

Систематическая ошибка минимальна при определении вертикали и носит асимметричный характер. Величина иллюзии определялась как разность между значением систематической ошибки для эталонного (фильтрованного) отрезка и для растрового. Ее зависимость от угла наклона паттерна представлена на рисунке 3.

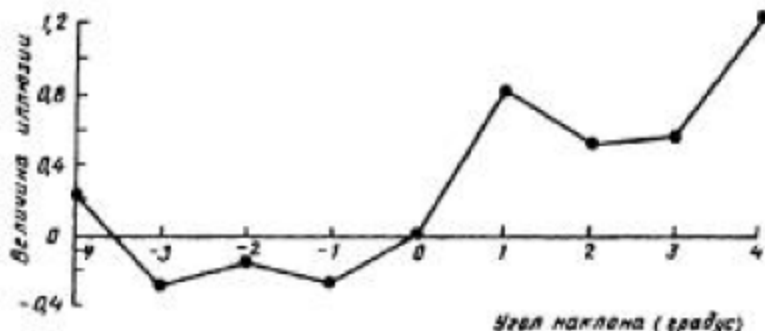


Рис. 3. Величина иллюзии в зависимости от угла наклона

При отрицательных углах наклона стимула (по часовой стрелке относительно вертикали) величина иллюзии остается приблизительно постоянной: не более $0,2-0,3^\circ$. На положительных углах иллюзия выражена резче, усиливаясь с увеличением угла наклона ($0-1,2^\circ$). Факт систематической ошибки согласуется с результатами исследований иллюзии Фрезера (Chiang, 1968; Cowan, 1973; Fraser, 1908; Stuart, Day, 1991). Следовательно, сегментация, порожаемая растром, является предельным случаем этой иллюзии, когда коэффициент перекрытия сегментов становится близким к нулю. Для того чтобы отличить описанный феномен от иллюзии Фрезера, назовем его *иллюзией наклона растрового отрезка прямой*.

Механизмы иллюзии

Для установления причин возникновения иллюзии наклона растрового отрезка прямой мы провели эксперимент, в котором наряду с растровыми и фильтрованными отрезками использовали отрезки, составленные из сегментов с различным коэффициентом перекрытия ($k = -0,12; -0,02; 0,02; 0,12$).

Учитывая множественность гипотез, претендующих на объяснение иллюзии Фрезера, выскажем несколько предположений о возможных перцептивных эффектах и соответствующих им механизмах. Концепция латерального торможения предсказывает, что если сегменты не перекрываются ($k < 0$) (рисунок 4), то иллюзия



Рис. 4. Примеры пространственных паттернов, предъявлявшихся испытуемым

отсутствует, а если перекрываются ($k > 0$), она возрастает с увеличением области перекрытия.

Теория К. Тайлера и К. Накаямы (Tyler, Nakayama, 1984) исключает возможность иллюзии в любой из сконструированных стимульных ситуаций ($k \neq 0$) из-за отсутствия субъективного контура, отвечающего за наклон изображения в целом. Согласно теории «дирекционных» элементов, чем длиннее сегменты, тем больше число детекторов локальной ориентации вовлекается в процесс восприятия, и тем, следовательно, больше величина иллюзии. С увеличением положительного коэффициента ($k > 0$) перекрытия сегментов иллюзия, возможно, будет возрастать не столь быстро. Это связано с тем, что области перекрытия окажутся в зоне действия одного «дирекционного» элемента. Наконец, если учитывать роль компонентов Фурье в формировании иллюзий наклона, то с возрастанием длины сегментов она должна возрастать, так как величина фундаментальной компоненты совпадает с длиной сегмента.

Применительно к восприятию растрового изображения ($k = 0$) возможны следующие прогнозы. Отсутствие разрывов и перекрытий воспринимаемой структуры исключает возникновение латерального торможения. Если бы оно и возникло, то должно было, скорее, искривить видимые концы сегментов, чем привести к искажению наклона. Согласно теории Тайлера и Накаямы, растровое изображение вызвало бы иллюзию, но меньшую по величине. Если существуют «дирекционные» элементы, то иллюзия зависит только от длины сегментов, поэтому результаты, полученные для растрового изображения, должны занять промежуточное положение между результатами для случаев $k = -0,02$ и $k = 0,02$. Обращение к фильтрам пространственных частот допускает, что иллюзия наклона растрового отрезка прямой должна быть существенно меньше, чем во всех остальных случаях. Это связано с тем, что в изображении появляется фундаментальная компонента Фурье, которая по длине совпадает с длиной стимула, а по наклону – с его истинным наклоном.

Примеры пространственных паттернов, использованных в нашем эксперименте, изображены на рисунке 4. Если $k = -0,12$, то это означает, что 24% общей величины паттерна приходится на разрыв между сегментами, а в случае $k = -0,02$ – только 4%. Если же коэффициент перекрытия положителен, то соответственно 4% (при $k = 0,02$) и 24% (при $k = 0,12$) общей величины паттерна попадают в область перекрытия.

Психофизическая оценка воспринимаемого наклона паттернов обеспечивалась методом ортогонального сравнения. Паттерны и устанавливаемый отрезок выводились на растровый дисплей с разрешением 640×350 пикселей. Случайным образом варьировали тип паттерна (6 уровней) и угол его наклона (7 уровней: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6°).

В эксперименте приняли участие 25 студентов, обладающих нормальным или скорректированным до нормального зрением.

Результаты ортогонального сравнения для $k = -0,12$ и $k = 0,12$ практически совпадают ($F = 1,48$; $p > 0,1$). Близки и оценки паттернов с $k = -0,02$ и $k = 0,02$ ($F = 0,13$; $p > 0,1$). Вся совокупность данных разбивается на три группы. Первая группа – растровые искажения ($k = 0$), вторая – $k = -0,02$; $k = 0,02$, третья – $k = -0,12$; $k = 0,12$.

Обратим внимание на вид паттернов, которые попали в ту или иную группу (рисунок 5).

Легко убедиться, что их объединение не случайно. Стимулы с наибольшим положительным и отрицательным коэффициентами

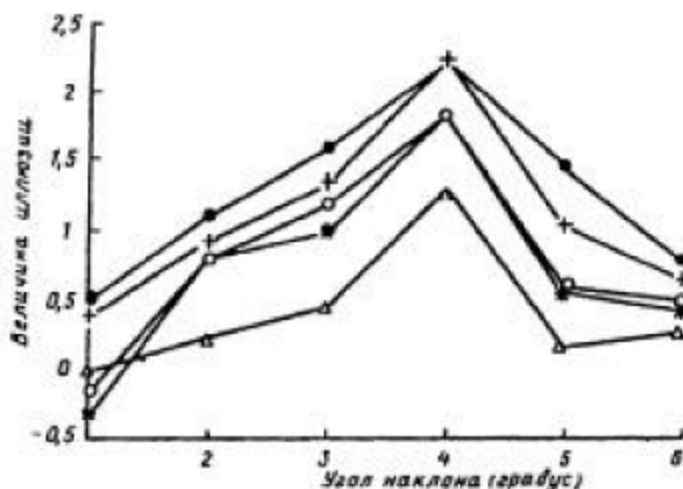


Рис. 5. Зависимость величины иллюзии от угла наклона и методы отображения. Темный кружок – $k = -0,12$, светлый кружок – $k = -0,02$, треугольник – растровое изображение, звездочка – $k = 0,02$, крестик – $k = 0,12$

перекрытия (а, е) меньше всего похожи на эталонный отрезок прямой (f). Некоторое сходство обнаруживают стимулы с незначительными положительными и отрицательными коэффициентами перекрытия (b, d), но ближе всего к эталонному отрезку (f) находится растровое изображение (с).

Сказанное позволяет заключить, что мы действительно имеем дело с родственными эффектами, основанием возникновения которых является параллельность смещения сегментов. В зависимости от знака и величины перекрытия сегментов тип и величина иллюзии оказываются различными. Переоценка наклона растрового отрезка прямой является предельным случаем ряда, когда коэффициент перекрытия близок к нулю, а величина иллюзии наименьшая.

Проанализируем возможные механизмы иллюзий. Многофакторный дисперсионный анализ показывает значимость влияния структуры паттерна на оценку его наклона ($F = 29,65$; $p < 0,001$). Так как иллюзия получена для всех типов паттернов, теория латерального торможения рецептивных полей может быть отвергнута уже на начальном этапе анализа. Вопреки ожиданию стимулы с отрицательным коэффициентом перекрытия сегментов приводят к не меньшим по величине иллюзиям, чем стимулы с положительным коэффициентом.

Тайлер и Накаяма использовали паттерны, составленные из сегментов, две противоположные стороны которых не только совпадали с идеальной границей стимула, но и индуцировали субъективные контуры, восполняющие разрывы между сегментами. Это позволяло говорить о наличии в исходном изображении признаков, которые соответствовали идеальным границам стимула и, следовательно, его истинному наклону. В нашем случае такие признаки отсутствовали (особенно явно для случая $k = -0,12$), а следовательно, ориентация стимулов могла задаваться только отношениями сегментов. По Тайлеру и Накаяме, все типы паттернов должны казаться вертикально ориентированными, чего в наших экспериментах не было. Если предположить, что признаки глобальной ориентации предъявлявшихся паттернов все же присутствуют, то по убывающей величине иллюзии паттерны можно выстроить в следующей последовательности: $k = -0,12$, $k = -0,02$; $k = 0,02$; $k = 0,12$; $k = 0$. В действительности стимул с $k = 0,12$ приводит к столь же сильному эффекту, что и стимул с максимальным отрицательным коэффициентом (см. рисунок 5).

Согласно теории «дирекционных» элементов Фрезера – Ховарда, что эффект наклона определяется на локальном уровне организации изображения. Главное внимание уделяется длине и ориентации сегментов. Иллюзия должна усиливаться с увеличением длины сегмен-

тов, а результаты оценок должны располагаться в следующем порядке: максимальная иллюзия для случая $k = 0,12$, затем $k = 0,02$; $k = 0$; $k = -0,02$ и минимальная иллюзия для $k = -0,12$. Однако иллюзия в случае $k = -0,12$ оказывается такой же сильной, как и для $k = 0,12$, а в случае $k = 0$ (растровые искажения) значительно слабее ожидаемой. Следовательно, и это объяснение несостоятельно.

Наконец, рассмотрим полученные данные с точки зрения пространственно-частотных составляющих. Наши результаты подтвердили предположение о минимальной величине иллюзии в случае растровых искажений, но вступили в противоречие с другими прогнозами теории. Если предположить, что значимость элемента связана с его фундаментальной компонентой Фурье, то иллюзия должна быть пропорциональна длине сегментов. На самом деле, так же как и в предыдущих случаях, оценка паттернов с $k = -0,12$ не соответствуют ожиданиям.

Таким образом, ни один из известных механизмов восприятия пространственной ориентации визуальных паттернов не может объяснить всей совокупности полученных данных. Невозможно это сделать и в результате суммирования механизмов, поскольку, с одной стороны, их действия нередко противоречат друг другу, а с другой, ни один из них не предназначен для объяснения эффектов отрицательного перекрытия элементов.

Главный результат нашего эксперимента состоит в том, что исследуемая иллюзия наклона является функцией структуры паттерна, т. е. пространственного соотношения его элементов. Для возникновения иллюзии необходимо параллельное смещение тождественных элементов относительно друг друга. Знак и степень перекрытия элементов определяют величину кажущегося наклона. Зарегистрированные эффекты восприятия различных паттернов имеют общий диапазон действия (наклоны относительно вертикали до 8°) и общий максимум (наклон в 4°).

Геометрический отрезок прямой, для которого величина смещения и степень перекрытия элементов равняются нулю, выступает в качестве предельного и в каком-то смысле исходного случая. Растровое изображение отрезка прямой вводит одностороннее смещение элементов, обуславливающее иллюзорное восприятие: с изменением величины смещения (в границах диапазона $-0,25 \leq \kappa \leq 0,25$) кажущийся наклон паттернов увеличивается. Иллюзия Фрезера (вернее одна из ее разновидностей) принадлежит к тем эффектам описываемого ряда, в котором элементы связаны положительным коэффициентом перекрытия. Эквивалентная по величине иллюзия, опирающаяся на отрицательные значения перекрытия элементов,

хотя и упоминалась в литературе (Schumann, 1900), специально не исследовалась. Очевидно, что в плане анализа механизмов восприятия пространственной ориентации паттернов среды она представляет не меньший интерес, чем иллюзия Фрезера. Попытки объяснить иллюзию Шумана могут привлечь к обсуждаемой проблеме новые эмпирические данные и концептуальные представления, которые позволят сформировать более глубокий взгляд на природу иллюзий наклона.

С рассматриваемой точки зрения кажущийся наклон растрового отрезка прямой отражает стык противоположных эффектов – момент перехода от иллюзии Шумана к иллюзии Фрезера, и наоборот. Особое место, которое занимает растровое искажение прямой, позволяет предположить его опору на механизмы и той, и другой иллюзии.

Безотносительно к физиологическим механизмам можно говорить о разных типах отношений между сходными элементами иллюзий: проксимальном и дистальном. Первый допускает сближение элементов и их контакт по всей длине перекрываемого пространства, второй – взаимодействие на удалении и контакт между концами элементов. Благодаря этим отношениям складываются целостные образования – «дирекционные единицы», на основе которых определяется пространственная ориентация и изображения в целом, и его отдельных сегментов. В какой-то мере здесь можно провести параллели с явлениями близкого и дальнего взаимодействия элементов зрительного поля, описанными в предыдущей главе.

Хотя паттерны, заключающие в себе различные отношения, вызывают сходные интегральные эффекты, иллюзии Фрезера и Шумана качественно различны. Отличается от них и иллюзия наклона растрового отрезка прямой, полагающая сосуществование отношений различного типа (проксимально-дистальные) и смешанные дирекционные единицы.

Микродинамика иллюзий наклона

Если представления, описанные выше, верны, то все три иллюзии должны иметь различный микрогенез. Зависимость величины кажущегося наклона параллельно смещенных отрезков прямых от времени предъявления и пространственной структуры паттерна прослеживалась в специальном исследовании.

Ранее эксперименты с варьированием времени предъявления стимульного паттерна (используемого типа) проводились лишь однажды и с другой целью (Fraser, 1908). Сокращая время экспозиции Фрезер пытался устранить возможный эффект движений глаз. В ходе

исследования было установлено, что при $t = 125$ мс иллюзия сохраняется и с увеличением времени экспозиции паттерна не уменьшается.

В нашем эксперименте в качестве стимульного материала использовались паттерны a , c , e , f (рисунок 4), которые имели два угла наклона: 0 и 2° .

Время предъявления варьировали случайным образом. В начале каждой пробы испытуемому подавался звуковой сигнал частотой 400 Гц и длительностью 500 мс. Спустя 1000 мс на экране дисплея демонстрировался паттерн, который сохранялся соответственно 40 , 80 или 120 мс. После этого появлялся подстраиваемый отрезок, и испытуемый с помощью потенциометра устанавливал его перпендикулярно стимулу. В эксперименте приняли участие 20 студентов в возрасте $18-24$ года.

Результаты эксперимента приведены на рисунке 6.

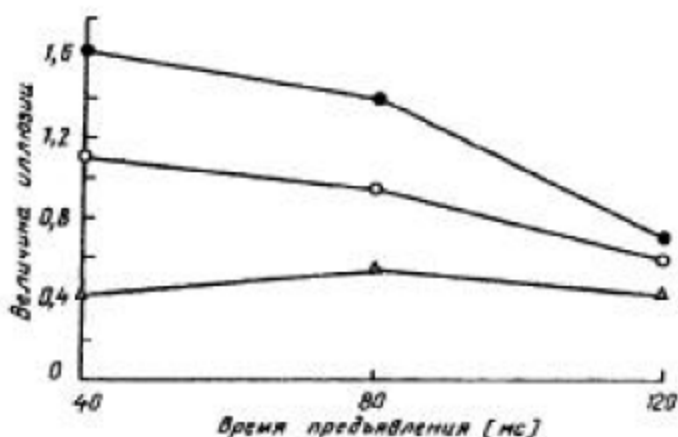


Рис. 6. Зависимость величины иллюзии от времени предъявления и типа паттерна. Темный кружок – $k = -0,12$, светлый кружок – $k = 0,12$, треугольник – растровые изображения

Нетрудно заметить, что с изменением времени экспозиции величина иллюзии растрового отрезка прямой практически не меняется. Это подтверждает результаты исследования Фрезера и исключает еще одну гипотезу, претендующую на объяснение механизма кажущегося наклона паттерна, – «эфферентные копии» саккадических движений глаз (Festinger, White, Allyn, 1968; Барабанщиков, 1997). Величина иллюзий Фрезера и Шумана, напротив, непосредственно зависит от времени предъявления паттернов. При $t = 40$ мс эффект иллюзии Фрезера превышает величину иллюзии растрового отрезка прямой в три раза, а эффект иллюзии Шумана – в четыре раза. При $t = 80$ мс эти различия сглаживаются, а при 120 мс – приближа-

ются к значениям, полученным в условиях достаточного времени экспозиции. Обратим внимание на то, что величина иллюзии Шумана ($\kappa = -0,12$) на всех временных интервалах оказывается выше величины иллюзии Фрезера ($\kappa = 0,12$).

Следовательно, каждая из рассматриваемых иллюзий имеет различный микрогенез, а значит, и различную качественную определенность. Можно полагать, что на ранних стадиях перцептогенеза ($t = 40$ мс) в силу нечеткости воспринимаемых элементов их отношения вызывают более выраженный интегративный эффект, чем на последующих. С течением времени спецификация графических деталей приводит к усилению роли внутренней структуры паттернов, снижающему общее впечатление наклона до некоторого постоянного значения. Отсутствие изменений в восприятии наклона растровых изображений обуславливается слабой дифференцированностью их структуры. Отметим, что за рамками изучения остался диапазон экспозиций 0–40 мс, обращение к которому поможет существенно уточнить картину микрогенеза иллюзий наклона (см.: Piaget, 1961).

Итак, используя психофизические методы, мы получили количественную оценку восприятия кажущегося наклона простейшего растрового изображения. Результаты эксперимента показывают, что: 1) существует систематическая ошибка (иллюзия) восприятия растрового отрезка прямой, которая зависит от угла его наклона; 2) диапазон кажущегося наклона растрового изображения составляет 0–4,5°; 3) присутствует асимметрия восприятия кажущегося наклона растрового изображения; величина иллюзии при наклоне против часовой стрелки больше, чем по часовой стрелке. Описанный феномен получил название «иллюзия наклона растрового отрезка прямой».

Экспериментальные данные позволили предположить, что иллюзии: наклона растрового отрезка, Фрезера, Цольнера, «кафельной стены» и т. п. являются частными случаями более общего феномена, основанием которого выступает параллельное смещение однородных элементов изображения. Эта гипотеза получила подтверждение в другом эксперименте, в котором в качестве независимой переменной использовали коэффициент перекрытия элементов ($k = 0$, $k = \pm 0,02$, $k = \pm 0,12$). Результаты исследования уточнили зависимость величины иллюзии наклона растрового изображения от угла наклона стимульного паттерна: иллюзия сохраняется в более широком диапазоне углов наклона (до 8° относительно вертикали).

Анализ результатов эксперимента показывает, что ни одна из известных концепций механизмов пространственной ориентации

предметов в поле зрения не может объяснить всей совокупности полученных данных. Наиболее адекватно это делает теория пространственных частот, но только для случаев $k = 0$, $k = \pm 0,02$. Можно полагать, что иллюзии параллельного смещения отрезков прямой обеспечиваются различными механизмами или одним механизмом, имеющим сложную, многоуровневую организацию. В любом случае кажущийся наклон растрового отрезка прямой характеризует стык, или встречу противоположных эффектов – иллюзий Шумана и Фрезера.

При изучении восприятия параллельно смещенных сегментов в зависимости от времени предъявления обнаружен факт временной ригидности иллюзии наклона растрового отрезка прямой относительно других иллюзий. С уменьшением времени экспозиции она остается неизменной, тогда как величины иллюзий Фрезера и Шумана по-разному возрастают. Это подтверждает особое место иллюзии наклона растрового изображения в ряду родственных эффектов и демонстрирует качественные различия иллюзий Фрезера и Шумана.

Субъектные детерминанты восприятия растровых изображений

Рассмотрев объективные предпосылки искажения восприятия растровых изображений, попытаемся охарактеризовать «внутренние переменные» данного процесса: стратегии активности субъекта и его отношение к воспринимаемому. Именно они способны скомпенсировать либо усугубить эффект растровых искажений и в значительной степени повлиять на продуктивность выполняемой человеком деятельности.

В ходе пилотажных исследований работы операторов с компьютерными изображениями мы обратили внимание на то, что некоторые из них, чтобы облегчить выполнение задания и улучшить показатели деятельности, начинают ориентироваться не только на основные, но и на дополнительные признаки – растровые искажения. Согласно литературным данным, четверть ошибок, допускаемых операторами при восприятии показания приборов, связана со структурой изображения: обусловлена недостаточной четкостью элементов индикации (цифр, делений шкал, указательных элементов), неправильной интерпретацией показаний, которые требуют интерполирования между соседними значениями; и разнообразными оптическими иллюзиями (Ломов, 1991). С небольшими оговорками, возможность подобных ошибок легко перенести и на работу операторов с растровыми изображениями.

Информационные характеристики растровых изображений

Прежде всего попытаемся раскрыть соотношение субъективной и объективной информативности растрового изображения, а также основания способов его восприятия. Решению этих задач было посвящено специальное исследование.

Мы исходили из того, что информационные показатели стимульных паттернов могут быть получены не только путем учета физических (графических) характеристик, но и на основании их классификации испытуемыми. В этом случае открывается удобная связь оценок (выборов) с расстояниями, откладываемыми в евклидовом пространстве подобия, и появляется возможность обойти ряд трудностей, связанных с применением классических методов многомерного шкалирования.

Испытуемому предъявлялся ряд из n паттернов, который необходимо было разбить на группы. Каждая группа обладала свойством, отличающим ее от других групп. Результат группировки описывался в терминах измерения субъективной информации (Donderi, 1988).

На основе классификации для каждой пары стимулов X и Y определялась совместная энтропия $H(X, Y)$. Если X и Y попадают в различные группы, то X не зависит от Y , и $H(X, Y) = H(X) + H(Y)$. Если же эти объекты оказываются в одной группе, то $H(X, Y) = H(X) = H(Y)$. Если Y не зависит от X , то независимая энтропия для стимула Y относительно X определяется из соотношения $H_X(Y) = H(X, Y) - H(X)$. Наконец, полная взаимная информация $I(X:Y)$ рассматривается как мера информации, принадлежащая как стимулу Y , так и X : $I(X:Y) = H(Y) - H_X(Y) = H(Y) + H(X) - H(X, Y)$.

После разбиения стимулов на группы, информационные показатели находятся с помощью следующих соотношений:

Объекты X и Y находятся в одной группе:

$$H_X(Y) = H(X, Y) - H(X) = H(X) - H(X) = 0,$$

$$I(X:Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X) = H(Y).$$

Объекты X и Y находятся в разных группах:

$$H_X(Y) = H(X, Y) - H(X) = H(X) + H(Y) - H(X) = H(Y),$$

$$I(X:Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X) - H(Y) = 0.$$

Наглядное представление информационных показателей в многомерном пространстве достигается путем введения меры расстояния: $d(XY) = H_Y(X) + H_X(Y)$. При этом между информационными параметрами и расстояниями устанавливается ряд соотношений:

$$H(X) = d(OX)^2, \quad d(OY) = H(X)^{1/2},$$

$$H(Y) = d(OY)^2, \quad d(OX) = H(Y)^{1/2},$$

$$H_Y(X) + H_X(Y) = d(XY)^2, \quad d(XY) = (H_Y(X) + H_X(Y))^{1/2}.$$

$$\text{Следовательно: } I(X:Y) = (H(X)H(Y))^{1/2} \cos\theta,$$

$$\cos(\theta) = \frac{I(X:Y)}{\sqrt{H(X) \times H(Y)}}$$

Косинус соответствует нормированной полной взаимной информации между стимулами X и Y. Он имеет значение 1 для идентичных стимулов, т. е. когда $H(X)=H(Y)=I(X:Y)$, и значение 0, когда объекты совершенно различны – $I(X:Y)=0$.

Соответствие между информационными мерами и расстояниями в евклидовом пространстве определяется для любой пары элементов X, Y и третьей точки O. Расстояние $d(XY)$ есть обычное межстимульное расстояние между двумя объектами, которые идентифицированы как точки в евклидовом пространстве стимулов. Расстояния $d(OX)$, $d(OY)$ являются расстояниями между общей точкой O и точками, представляющими стимулы X и Y. Эти расстояния соответствуют информативности, или отчетливости, каждого объекта. Точка O, для которой $H(O)=d(OO)^{1/2}=0$ и которая, таким образом, может быть рассмотрена как полностью неразличимая или неинформативная, берется в качестве начала отсчета в пространстве подобия.

Поскольку психологическим коррелятом субъективной информативности является значимость свойств изображения для наблюдателя, описанная процедура позволяет оценить значимость расщепленных искажений, установить их вклад в общую информативность графического объекта и определить возможные трансформации перцептивной структуры.

В качестве стимульного материала использовался набор тест-объектов, представленных на рисунке 7.

Он состоит из четырех пар отрезков, которые различаются между собой методом отображения: 0–4, 1–7, 2–6, 3–5. В каждой из пар один отрезок отрисовывался на экране дисплея с помощью стандартных

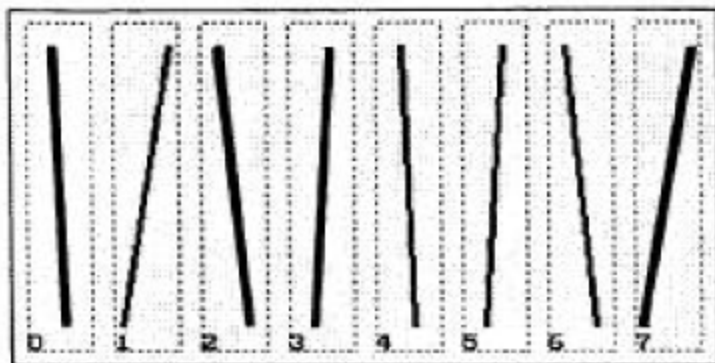


Рис. 7. Стимульный материал в задаче классификации

алгоритмов, предоставляемых графической библиотекой Borland C++, а другой – с использованием методов предварительной обработки (выравнивания) изображения.

Направление и углы наклона тест-объектов подобраны таким образом, чтобы вне зависимости от метода отображения испытуемый легко распознавал стимулы с одинаковыми углами наклона. Согласно инструкции он должен был разбить эти стимулы на группы в соответствии с теми признаками, которые ему удастся выявить.

В эксперименте приняло участие 25 человек с нормальным и/или корректируемым зрением. Конечные матрицы попарных расстояний получены путем масштабирования в восьмимерном пространстве с помощью компьютерной программы многомерного масштабирования по методу Р. Шепарда, разработанной в лаборатории математической психологии ИП РАН.

Сопоставим расстояния от начала координат до элементов, различающихся между собой только методом отображения (рисунок 8). Пары в данном и последующих примерах проранжированы по величине угла отклонения от вертикали, поэтому индексу 1 соответствует пара 4–0, индексу 2 – пара 5–3, индексу 3 – пара 6–2, индексу 4 – пара 1–7. Значение, отложенное по вертикальной оси, означает степень информативности объекта.

Как видно из рисунка, информативность растрового элемента в паре оказывается выше, чем для его фильтрованного аналога. Заметим, что вклад в информативность вносят различные признаки, содержащиеся в объектах: наличие/отсутствие искажений, их степень, угол отклонения от вертикали, направление отклонения и др. Как показал В. Ю. Крылов (1990), влияние подобных признаков почти

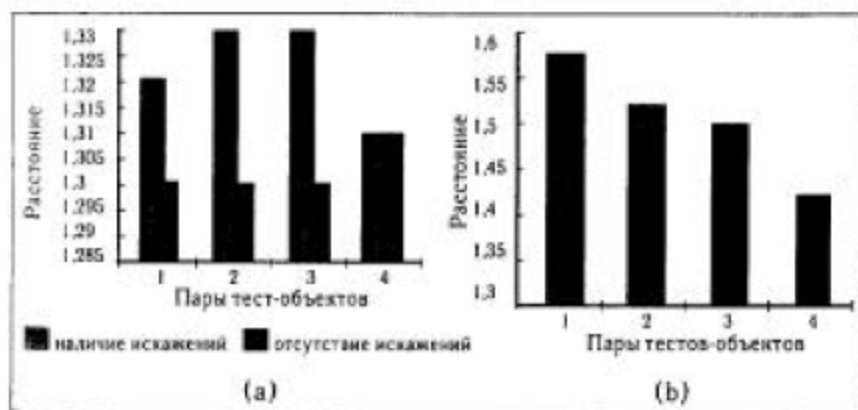


Рис. 8. (а) Субъективная информативность паттернов в парах. (б) Отличие между паттернами в парах

никогда не сводится к простой сумме. Констатируя вклад, вносимый растровостью, обратимся к тем показателям, которые позволяют рассмотреть этот признак отдельно от остальных.

Отсутствие в матрице попарных расстояний нулевых значений, свидетельствует о том, что даже в парах одни и те же объекты не считаются идентичными. Следовательно, различия между ними выражают вклад растровости в субъективную информативность стимула. Значения расстояний между объектами внутри каждой пары приведены на рисунке 8(b).

Они характеризуют субъективные информативности объектов. Для сравнения найдем их объективные аналоги.

Общее количество информации всего изображения можно определить как:

$I = k \times \log(m \times n)$, где m и n – количество пикселей экрана по вертикали и горизонтали, k – количество вершин изображения. Поскольку количество вершин пропорционально числу сегментов, последнее выступает в качестве меры объективной информативности растрового изображения.

На рисунке 9 представлена динамика изменения объективной и субъективной информативности паттерна с увеличением числа сегментов. В качестве субъективной меры взяты расстояния между элементами внутри пар, а объективная информативность равняется числу сегментов в изображении. Как видно из графика эти зависимости имеют *обратный* характер: с увеличением числа сегментов растровые изображения дифференцируются менее отчетливо, а их элементы теряют значимость.

Некоторые из расстояний между объектами, принадлежащими к разным парам, оказались меньше, чем расстояния до соответствующего парного стимула. Следовательно, отрезки отличающиеся углом наклона, но не содержащие искажений, могут казаться более похожими, чем элементы внутри пары.

На основании анализа полученных результатов, а также отчетов испытуемых после выполнения заданий можно выделить следующие стратегии группировки: 1) ориентация только на наличие или отсутствие искажений, 2) использование только угла наклона, 3) учет и искажений, и угла наклона паттернов.

Можно предположить, что если бы наши испытуемые оказались в роли операторов, управляющих с помощью компьютерных изображений реальными технологическими процессами, то представители первой группы (9%) стали бы активно использовать дополнительные признаки; при отсутствии таковых погрешность визуальных оценок была бы наибольшей. Для испытуемых второй

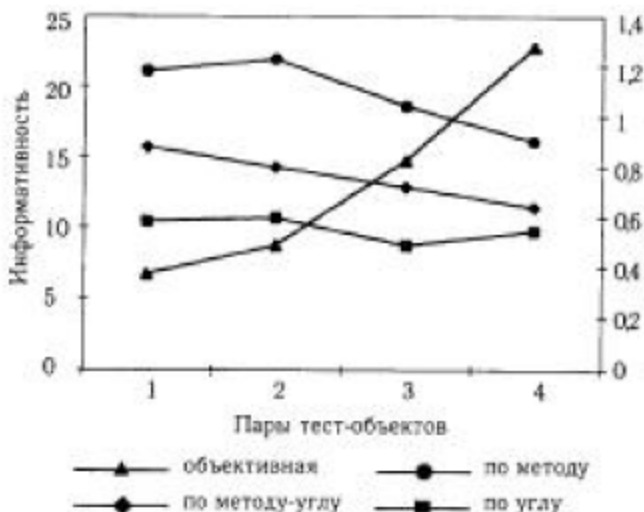


Рис. 9. Соотношение объективных и субъективных показателей информативности для разных групп испытуемых

группы (30%), которые опирались только на угол наклона, дополнительные признаки служили бы помехой. Представители же третьей группы (61% от общего числа, принявших участие в эксперименте) имели бы возможность использовать достоинства как первой, так и второй стратегии.

На рисунке 9 изображены зависимости объективной и субъективной информативности для каждой группы испытуемых в отдельности. Расположение кривых друг под другом является естественным результатом различной значимости признака растровости для различных групп испытуемых. Наклон кривых наибольший у первой группы $k = -0,103$, т. е. у тех, кто ориентировался только на признак растровости; при переходе от одной группы к другой этот наклон уменьшается. Интересно, что даже у группы с доминированием признака наклона отрезка прямой этот угол не равен нулю $k = -0,0237$, а кривая сохраняет тенденцию к уменьшению информативности по мере увеличения числа искажений.

На чем же строятся различные способы восприятия растровых изображений и каковы условия их переключения? Решению этой проблемы посвящен следующий эксперимент.

Стратегии и способы восприятия растрового изображения

Как показали предыдущие исследования, количество искажающих элементов само по себе еще не определяет восприятия растровых изображений. Например, искаженный отрезок прямой,

наклоненный под малым углом, может восприниматься как несколько вертикальных сегментов, сдвинутых относительно друг друга. В данном случае искажения становятся источником не просто ухудшения эстетического вида картинки или уменьшения достоверности формы (Atherton, Carogael, 1985), но и диссоциации структуры исходного изображения (Ульман, 1983). Можно предположить, что основной детерминантой восприятия в данных условиях оказывается перцептивная структура изображения.

Испытуемому в случайном порядке предъявляли тест-объекты, изображенные на рисунке 10.

Требовалось определить их ориентацию, которая выставлялась кинестетическим методом с помощью специального устройства. Испытуемый, вращая стрелку указателя вокруг оси и пользуясь для корректировки реперными выступами на внешней стороне диска, выбирал положение указателя, которое совпадало либо не совпадало со зрительно воспринимаемой ориентацией стимула. Согласно инструкции, цель эксперимента формулировалась как определение точности ориентации воспроизведенного на экране монитора объекта. В действительности же процедура кинестетического отслеживания использовалась для определения способа презентации растрово искаженного объекта испытуемому, т. е. того, каким он его видит.

Например, если испытуемый воспринимает паттерн № 10 как один отрезок, искаженный растровостью и наклоненный вправо

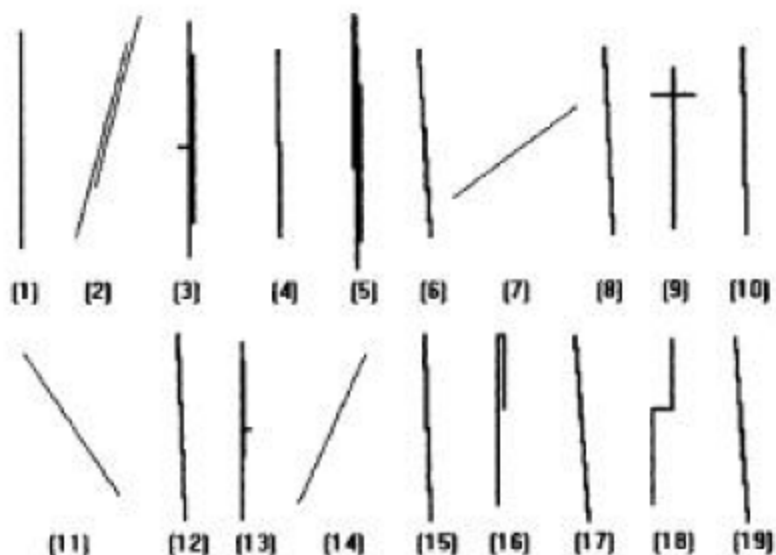


Рис. 10. Примеры паттернов, которые экспонировались испытуемым

относительно вертикали, то под таким же углом наклона выставит и указатель. Если же паттерн воспринимается как три сегмента, ориентированные вертикально и сдвинутые друг относительно друга на один пиксел, то – выставит вертикаль.

В ходе эксперимента использовалось 19 стимулов. Первый из них всегда был представлен вертикальным отрезком. Выставленная вертикаль служила началом отсчета субъективной метрики для остальных проб. Подобный способ позволял, во-первых, устранять смещение нуля, связанное с погрешностью самого устройства, и, во-вторых, учитывать неизбежную систематическую ошибку, возникающую при преобразовании зрительной информации в кинестетическую.

Среди 19 стимулов восемь были сигнальными и одиннадцать – шумовыми. Сигнальные стимулы – № 4, 6, 8, 10, 12, 15, 17, 19 – представляли собой по-разному наклоненные растровые отрезки прямых. Число сегментов варьировалось от 2 до 9.

Изображения последовательно выводились на растровый экран с разрешением 640×350 пикселей. В каждой пробе фиксировался угол наклона и время реакции. По окончании выполнения эксперимента испытуемому повторно предъявляли те же стимулы, и просили прокомментировать выбранный им способ работы.

В эксперименте приняло участие 12 испытуемых с нормальным и/или корректируемым зрением.

На основании количественных данных и устных отчетов было выделено три группы испытуемых: 1 – те, кто всегда воспринимал стимульные отрезки только вертикальными, 2 – только наклонными, и 3 – те (их было большинство), кто одни паттерны воспринимал как вертикальные, а другие – как наклонные. Процентное соотношение числа испытуемых в группах почти полностью соответствовало группам, выделенным в предшествующем эксперименте. По существу, кинестетическое отслеживание представляет собой другой метод оценки стратегии восприятия растровых изображений испытуемыми.

На рисунке 11 показана зависимость выставленной ориентации паттерна от числа сегментов, входящих в его состав.

Полученные данные позволяют дифференцировать две зоны. Первая, от 0 до 1,6° (2–6 сегментов), характеризуется колебаниями отслеживаемого значения в диапазоне 0...+1,5°. Вторая зона начинается в районе 1,6° (6 сегментов) и, видимо, простирается до тех углов, при которых растровые искажения становятся незаметными. Для нее характерно отличное от нуля и близкое к действительному значение ориентации паттерна. Последнее означает, что отрезок, состоящий из небольшого числа сегментов, не воспринимается как отрезок

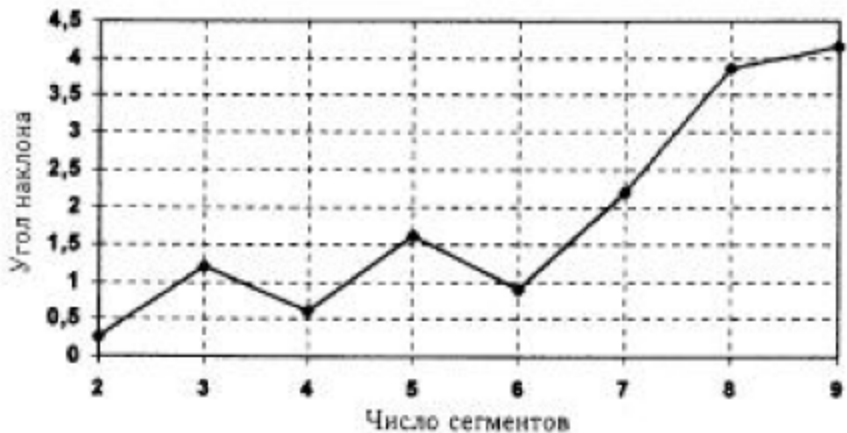


Рис. 11. Зависимость воспринимаемого наклона изображения от числа сегментов

прямой. Лишь с увеличением угла наклона (и, соответственно, числа сегментов) изображение постепенно предстает как единое целое.

Граница, разделяющая указанные зоны, носит индивидуальный характер и широко варьирует.

Полученные результаты позволяют говорить о трех стратегиях восприятия растровых отрезков прямых.

I. «Ориентация на искажения (вертикаль)»: испытуемые обращают внимание только на наличие или отсутствие растровых искажений, а в случае необходимости переходят к работе по дополнительному сенсорному признаку (Бардин, 2000). Последнее предстает как положительный фактор, характеризующий гибкость восприятия человека, его возможность подстраиваться под текущие изменения среды и, следовательно, улучшать показатели выполняемой деятельности. Вместе с тем данная стратегия предполагает предельно широкий диапазон диссоциированных структур изображения и может оказаться источником деформации сложных изображений. Излишняя гибкость, полезная в экстремальных ситуациях, инициирует ошибки восприятия в «штатном режиме» работы.

II. «Ориентация на наклон»: испытуемые ограничиваются учетом угла наклона изображения. Использование данной стратегии в обычных условиях приводит к наилучшим показателям выполняемой деятельности. Применяемые здесь жесткие перцептивные схемы эффективно устраняют помехи, а зона перцептивной диссоциации изображения оказывается минимальной. В экстремальной ситуации, предполагающей влияние сильных возмущающих воздействий (например, на вестибулярный аппарат), повышенная перцептивная ригидность может вести к значительным ухудшениям деятельности.

III. «Смешанная стратегия»: ее применяют испытуемые, для которых пространство используемых признаков многомерно, т. е. учитывается как угол наклона, так и растровые искажения изображения. В этом случае устанавливается баланс между влиянием привходящих (шумовых) признаков и исходной структурой паттерна, а выполняемая деятельность в различных условиях оказывается оптимальной.

При любой стратегии связь между объективными и субъективными информативностями растровых объектов носит обратный характер. Для первой стратегии подобная зависимость вызвана перцептивной диссоциацией структуры изображения. Отрезок воспринимается как два, три, четыре отдельных сегмента. При второй стратегии данная зависимость сохраняется, хотя и в редуцированной форме. Следовательно, растровые искажения *всегда* выступают для наблюдателя как внутреннее свойство изображения. Наблюдатель не может полностью абстрагироваться от навязываемых ему шумовых элементов изображения, как не может полностью и положиться на них. Если при выполнении простейших визуальных операций данные стратегии восприятия приводят к незначительным ошибкам, то во время работы со сложным изображением, особенно в условиях стресса (Бодров, 2000), возможны более серьезные последствия.

На материале растровых изображений проявляются общие закономерности организации зрительного поля человека (Koffka, 1935; Allport, 1955). В любой стимульной ситуации, включающей набор элементов, каждый из них так или иначе связан с другими и имеет для наблюдателя определенную значимость. С уменьшением числа элементов или увеличением их размера она возрастает, меняя характер функциональных связей в целом. Так, Стюарт и Дей показали, что увеличение зрительного угла, стягивающего паттерн, в 8 раз приводит к усилению иллюзии наклона в 7 раз, а стимула, представленного на фоне шума, – только в 1,2 раза (Stuart, Day, 1988). Ранее Тайлер и Накаяма обнаружили, что увеличение числа сегментов с двух до двадцати ослабляет иллюзию Фрезера более чем в двадцать раз (Tyler, Nakayama, 1984). Соответственно, и растровые эффекты оказываются функциями многих переменных. Прошлый опыт, установки, когнитивные стили, наличные потребности субъекта обуславливают возникновение на одной и той же стимульной основе различных перцептивных структур.

Согласно полученным данным, существуют два способа восприятия растровых изображений: *аналитический* и *синтетический*. Для первого характерна перцептивная диссоциация – расщепление

изображения на отдельные сегменты, для второго способа – перцептивная интеграция, установление сильных функциональных связей между частями изображения. Оба способа восприятия выражают «субъектные переменные» и тесно связаны с информационным содержанием паттерна. Последнее находит выражение в зональной природе восприятия растровых изображений. В зависимости от угла наклона растрового отрезка прямой может доминировать либо тот, либо другой способ восприятия.

При наклоне отрезков в диапазоне углов $0-1,6^\circ$ (или 2–6 сегментов) изображение интерпретируется как вертикально ориентированное или выстроенное из ряда вертикально ориентированных сегментов. В этой зоне доминирует аналитический способ восприятия. По-видимому, именно данный диапазон углов наклона должен стать объектом особого внимания разработчиков растровых систем отображения информации. Здесь возможны наиболее глубокие трансформации перцептивной структуры изображения, ведущие к ошибкам оператора: дезориентации, неправильному считыванию показаний, ошибкам обнаружения и идентификации. Диапазон углов свыше $1,6^\circ$ (изображение разбивается на число сегментов больше 6) для большинства наблюдателей предполагает использование синтетического способа восприятия – растровый отрезок прямой выступает как единое целое.

Можно полагать, что процессы визуального анализа и синтеза, диссоциации и интеграции растровых изображений сосуществуют и взаимопереходят друг в друга в одном и том же акте восприятия. В зависимости от предрасположенности наблюдателя и объективных параметров паттерна тот или иной процесс начинает играть доминирующую роль, которая всегда носит ограниченный характер. Поэтому собственно иллюзия наклона растрового отрезка прямой не является абсолютной, а ее проявление отражает текущее состояние системы детерминант перцептивного процесса.

Растровые искажения как предмет психологического анализа

Исследования, описанные выше, обнаруживают важные характеристики восприятия растровых изображений. Высказан ряд рабочих гипотез и сформулировано несколько понятий, позволяющих адекватно описывать экспериментальные данные. В результате выполненной работы открывается возможность из области эмоциональных или эстетических оценок растровых изображений перейти к строгим показателям, значимым с точки зрения выполнения операторской деятельности и понимания психологических механизмов восприятия.

Для интерпретации полученных данных мы обратились к разделу психофизики, посвященному изучению оптико-геометрических иллюзий. Было показано, что стимульный паттерн растрового отрезка прямой в значительной степени совпадает с паттерном иллюзии Фрезера. Речь идет о сегментированном изображении прямолинейных объектов или их границ, когда ориентация сегментов отличается от идеальной ориентации целостного объекта.

Иллюзии Фрезера не очень повезло, если сравнивать ее экспериментальную проработку с исследованиями подобных эффектов, например, иллюзии Поггендорфа или эффекта нормализации Гибсона. На данный момент существует только несколько работ по изучению ее природы. Уместно подчеркнуть, что концепции, предлагаемые для объяснения феномена, носят физиологический либо квазифизиологический характер и, как правило, заимствуются из разработок других зрительных эффектов. Более того, подобные концепции ограничиваются фрагментом или «сколком» необычайно сложного перцептивного процесса при попытке объяснить все многообразие получаемых данных в терминах одного из возможных измерений. В конечном счете это приводит к физиологической редукции целостного процесса или к статичному, одномоментному описанию иллюзий.

Поэтому, предваряя более широкое изучение эффекта растровости, мы провели верификацию существующих представлений о природе иллюзии Фрезера. Экспериментальный материал был подобран таким образом, чтобы получаемые данные могли проявить различные аспекты и отношения изучаемого феномена: роль латерального торможения, «дирекционных» элементов Фрезера – Ховарда, компонентов Фурье и др.

Полученные нами результаты в той или иной мере противоречат всем известным концепциям. Наиболее неожиданным и трудно объяснимым оказался тот факт, что стимульные паттерны с минимальным коэффициентом перекрытия сегментов ($\kappa = -0,12$) вызывают (наряду со стимульными паттернами, имеющими максимальный коэффициент $-\kappa = 0,12$) наибольшую иллюзию. Оценки же наклонов разных типов стимульных паттернов группируются в соответствии со степенью их близости к идеальному изображению отрезка.

Это позволяет предположить существование ряда однородных иллюзий, стимульные паттерны которых допускают параллельное смещение элементов друг относительно друга. Когда подобное смещение имеет положительный знак ($\kappa > 0$), сегменты частично перекрываются, возникает иллюзия Фрезера. Максимальная величина иллюзии, по-видимому, имеет место при 50% перекрытии длины

сегментов ($k = 0,25$). Данный паттерн рассматривается в качестве основы самостоятельной иллюзии, впервые описанной Г. Мюнстербергом (Münsterberg, 1897); в англо-американской литературе ее называют иллюзией «смещенных квадратов», или «кафельной стены». Соответственно, при $k = 0$ – условия возникновения растровых искажений, величина иллюзии оказывается существенно меньшей, но не минимальной (иллюзия исчезает при $k = 1$).

Перечисленные эффекты образуют лишь половину феноменального ряда. Вторая его половина предполагает отрицательное смещение сегментов ($k < 0$): сохраняя параллельность они не только не перекрываются, но и удаляются друг от друга. Это становится основанием еще более редкой иллюзии Шумана. Гипотетически и здесь можно предположить, что ее величина будет максимальной, когда расстояние между ближайшими концами сегментов достигнет 50% их длины ($k = -0,25$). И опять, при $k = 0$ – условия возникновения растровых искажений – величина иллюзии Шумана оказывается существенно меньшей, хотя и не минимальной.

Сказанное означает, что растровые искажения наклона появляются на стыке двух иллюзий, обладая свойствами и той, и другой. Поэтому физиологические механизмы иллюзии Фрезера, привлекаемые для объяснения растровых искажений отрезков прямой, оказываются по меньшей мере недостаточными.

На психологическом уровне анализа объяснение полного ряда иллюзий может быть построено на представлении о дирекционных единицах и их интеграции в рамках всего паттерна в целом. Дирекционные единицы рассматриваются здесь не как детекторы ориентации, которые локализируются на разных уровнях зрительной сенсорной системы, начиная с сетчатки (Howard, 1982), а как относительно самостоятельные фрагменты целого, которые включают, по крайней мере, два параллельно смещенных элемента изображения, порождающие впечатление об их ориентации. Можно полагать, что именно дирекционные элементы ассимилируются перцептивной схемой ситуации, так или иначе модифицируя ее содержание. Вместе с тем благодаря схеме (ее пространственному компоненту) выдерживается «жесткость» восприятия даже искаженных изображений; они не «расплываются» и не заслоняются иллюзиями.

Возможны три разновидности дирекционных единиц: 1) проксимальные, допускающие перекрытие элементов ($k > 0$), 2) дистальные, построенные на диспаратности параллельно смещенных элементов ($k < 0$), 3) смешанные, или растровые ($k = 0$). В зависимости от характера изображения они могут быть по-разному сориентированы в пространстве и играть различную роль в оценке наклона паттерна

в целом. Изображения, которые использовались в наших экспериментах, были однотипными в том смысле, что составляющие их дирекционные единицы относились к одному из трех видов и «работали» наклон только в одном направлении. Закономерности интеграции различных дирекционных единиц, обеспечивающих восприятие по-разному наклоненных сегментов, являются самостоятельной и весьма непростой психологической проблемой.

Обратим внимание на то, что речь не идет о временной структуре, а только об образующих восприятия ориентации сложного паттерна. Совершенно не обязательно, чтобы сначала были репрезентированы дирекционные единицы, а лишь затем – их результирующая. В ходе перцептогенеза обе репрезентации развиваются параллельно путем взаимоопосредования. Как мы убедились, и иллюзия Фрезера, и иллюзия Шумана, выражающие некоторый интегральный эффект, максимальны именно на ранних этапах микрогенеза (40 мс), т. е. тогда, когда уже дифференцируется тип дирекционных единиц, но их элементы переживаются нечетко. В случае растровых изображений 40 мс оказывается вполне достаточно для завершения их перцептогенеза.

Эксперименты показывают, что продолжительность перцептогенеза является функцией сложности изображения и типа дирекционных единиц. С этой точки зрения симметрия оценок наклонов паттернов при $\kappa = -0,12$ и $\kappa = 0,12$ очень ограничена. Наиболее сложными для оценки направления оказываются паттерны Шумана, наиболее простыми – растровые отрезки прямой. Несмотря на общность эффектов, рассмотренные иллюзии опираются на различные типы дирекционных единиц, а значит, качественно различны.

Восприятие наклона растрового отрезка прямой обуславливается не только объективной структурой паттерна, но и особенностями самого наблюдателя. Паттерн предоставляет лишь определенные возможности восприятия, которые разными людьми реализуются по-разному.

Растровые изображения изначально являются двойственными. Они могут репрезентироваться как наклоненный паттерн, но могут – и как вертикально ориентированная группа сегментов. В первом случае паттерн воспринимается как единое целое, деформируемое шумовыми элементами (синтетический способ восприятия), во втором – как диссоциированное изображение, включающее растровые искажения в качестве основных признаков (аналитический способ восприятия). Тот или иной способ восприятия является прерогативой наблюдателя и зависит от числа сегментов, включенных в растровое изображение: малое число сегментов предрасполагает к аналитическому способу восприятия, большое – к синтетическому.

Растровые изображения прямой чаще интерпретируются как вертикально ориентированные в диапазоне углов 0–1,6°, и как наклонные относительно вертикали – в диапазоне углов свыше 1,6°. Критические и рабочие зоны искажений не являются жестко заданными и в значительной степени определяются текущей ситуацией восприятия, характером решаемой задачи, применяемой стратегией и предшествующим опытом наблюдателя.

Независимо от способа восприятия растровые искажения выступают для наблюдателя как имманентное свойство самого изображения, становятся предметом его контроля и использования. Последнее обнаруживается в различных стратегиях восприятия. Испытуемые ориентируются: а) на наличие или отсутствие искажений, б) на наклон растрового изображения в целом, в) пытаются учитывать и то, и другое. Последняя стратегия, характерная для большинства испытуемых, выражает многомерность восприятия растровых изображений.

Существенно, что при любой стратегии восприятия объективная и субъективная информативность растровых объектов связаны обратной зависимостью. Поэтому, например, увеличение числа искажающих элементов растрового изображения может привести к перцептивным эффектам, противоположным ожидаемым.

Таким образом, проблема антиалиаизинга – борьбы с растровыми искажениями – имеет не только технический (программный или аппаратный), но и важный психологический аспект. Наряду с повышением разрешающей способности дисплеев объема видеопамати и быстродействия необходим учет закономерностей восприятия растровых изображений при конструировании новых средств отображения визуальной информации, обучении операторов и проектировании их деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- Барабанищikov В. А. Восприятие событие СПб.: Алетей, 2002.
- Барабанищikov В. А. Окуломоторные структуры восприятия. М.: Изд-во ИП РАН, 1997.
- Бардин К. В., Садов В. А., Цзен Н. В. Новые данные о припороговых феноменах // Психофизика сенсорных и сенсомоторных процессов. М.: Наука, 1984. С. 40–70.
- Бодров В. А. Информационный стресс. М.: ПЕР СЭ, 2000.
- Крылов В. Ю. Геометрическое представление данных в психологических исследованиях. М., 1990.
- Ломов Б. Ф. Вопросы общей, педагогической и инженерной психологии. М.: Педагогика, 1991.

- Allport F. Theories of perception and the concept of structure. N. Y.: Wiley, 1955.
- Atherton P. R., Caporael L. R. A subjective judgment study of polygon based curved surface imagery // Proc. CHI'85 Human factors in computing systems, ACM. N. Y., 1985. P. 27–34.
- Booth K., Bryden M. P., Cowan W. R., Morgan M. F., Plante B. L. On the Parameters of Human Visual Performance: An Investigation on the Benefits of Antialiasing // IEEE Computer Graphics and Applications. 1987. Vol. 9. P. 34–41.
- Chiang C. A new theory to explain geometric illusions produced by crossing lines // Perception and Psychophysics. 1968. Vol. 3. P. 174–176.
- Cowan T. M. Some variations of the twisted cord illusion and their analyses // Perception and Psychophysics. 1973. Vol. 14. P. 553–564.
- Crow F. C. The Aliasing Problem in Computer-Generated Shaded Images // Communications of the ACM. 1977. V. 20 (11). P. 799–805.
- Crow F. C. A comparison of Antialiasing Techniques // IEEE CG&A. 1981. V. 1. P. 40–48.
- Fraser J. A new visual illusion of direction // British J. Psychology. 1908. V. 2. P. 307–320.
- Gupta S., Sproull R. Filtering Edges for Gray-Scale Displays // SIGGRAPH'81 Conference Proceedings, Computer Graphics. 1981. V. 15. P. 1–5.
- Howard I. P. Human visual orientation. N. Y.: John Wiley. 1982.
- Koffka K. Principles of gestalt psychology. N. Y.: Liveright, 1940.
- Münsterberg H. Die versehobene Schachbrettfigur // Z. Psychol. 1897. № 15. S. 184–188.
- Piaget J. The mechanisms of perception. N. Y.: Basic Books, 1969.
- Robinson J. O. The psychology of visual illusion. Mineola, N. Y.: Dover Publications, inc., 1998.
- Schumann F. Beiträge zur analyse der Gesichtswahrnehmungen // Z. Psychol. 1900. N 23 S. 1–33.
- Silverstein L. D., Krantz J. H., Gomer F. E., Yeh Yei-Yu, Monty R. W. Effects of spatial sampling and luminance quantization on the image quality of color matrix displays // J. optical society of America. 1990. Vol. 7. P. 1995–1968.
- Stuart G. W., Day R. H. The Fraser illusion: Complex figures // Perception and Psychophysics. 1991. V. 49. P. 456–468.
- Stuart G. W., Day R. H. The Fraser illusion: Simple figures // Perception and Psychophysics. 1988. V. 44. P. 409–420.
- Tanner P. P., Jolicoeur P., Cowan W. B., Booth K., Fishman F. D. Antialiasing: A technique for smoothing jagged lines on a computer graphics image: An implementation on the Amiga // Behavior research methods, instruments, and computers. 1989. V. 21. P. 59–66.
- Tyler C., Nakayama K. Size interactions in the perception of orientation // Sensory experience, adaptation and perception / Eds. L. Spillman, J. R. Wooten. N. Y., 1984. P. 529–546.

ГЛАВА 8

ПСИХОФИЗИКА ВОСПРИЯТИЯ ЭКСПРЕССИЙ ЛИЦА В МИКРОИНТЕРВАЛАХ ВРЕМЕНИ

Дискретность либо непрерывность?

В психологии сложились два подхода к исследованию природы выражения и восприятия эмоциональных состояний человека. Согласно первому, любая экспрессия лица характеризуется точкой на континууме состояний, а между эмоциями разных модальностей существует непрерывающийся переходный ряд. Согласно второму, та или иная экспрессия лица относится к определенной категории, связывающей некоторый набор состояний, а переход от эмоции одной модальности к другой совершается скачкообразно. При этом оба подхода базируются на одном и том же фактическом основании: сходстве выражений различных эмоций на лице человека.*

Представление о непрерывности экспрессий лица восходит к работам В. Вундта, предложившего концепцию трехмерного пространства чувств. Координатным осям этого пространства соответствовали чувства удовольствия – неудовольствия, напряжения – разрешения и возбуждения – успокоения (Вундт, 1880). Развитием схемы подобного типа является круговая шкала эмоций, разработанная Р. Вудвортом и Г. Шлосбергом. Экспрессии лица описываются здесь двумя координатами: удовольствие – неудовольствие и принятие – отвержение. В рамках представления о непрерывном характере экспрессий лица получают объяснение такие феномены, как сильная зависимость воспринимаемой эмоции от общего контекста, неверное опознание экспрессий лица, соответствующих эмоциям, соседним на круговой шкале и др. (Woodworth, Schlosberg, 1954).

Дискретный (категориальный) подход к восприятию экспрессий связан с именем П. Экмана. Подготовленные им фотозаталоны не-

Исследование выполнено при поддержке РГНФ, грант №07-06-00302а.

контролируемых мимических выражений шести основных эмоций – страха, горя, радости, гнева, отвращения, удивления – надежно распознавались испытуемыми независимо от расовых, национальных, половых особенностей воспринимающего, уровня и характера его образования (Ekman, 2004). Согласно П. Экману и У. Фризену, такие эмоциональные состояния, как интерес, презрение, стыд, также могут иметь характерные выражения, но большинство эмоций лишено устойчивых мимических паттернов и не может рассматриваться как сочетание выразительных проявлений основных эмоций (Ekman, Freisen, 1978).

С появлением техники морфинга лица, т. е. конструирования его изображения на основе лиц, принадлежащих разным людям или одного и того же лица, но в разных эмоциональных состояниях (Rowland, Perrett, 1995; Calder et al., 1996), открылись новые возможности экспериментального решения проблемы дискретности/непрерывности восприятия экспрессий. Идея состоит в следующем. Используя процедуру морфинга, построим переходный ряд между изображениями двух экспрессий лица. Каждое из вновь построенных изображений будет в той или иной степени обладать признаками исходных паттернов. Определим, насколько успешно испытуемый различает два соседних изображения в переходном ряду. Одинаковая точность различения для всех пар будет свидетельствовать в пользу непрерывного характера восприятия экспрессий лица. Если же окажется, что для пар в середине ряда точность выше или ниже, то можно предположить, что это обусловлено отнесением элементов этих пар к разным категориям. Допускается, что лицо является сложным паттерном, а выражение лица содержит как устойчивые (собственно категориальные), так и изменчивые черты. Исключение или трансформация последних ведет к более эффективной дифференциации экспрессий.

Для определения точности различения испытуемым предлагалось решить АВХ задачу (рисунок 1). На экране последовательно демонстрировались три состояния лица одного и того же переходного ряда, разделяемые шумовой маской. Испытуемые должны были определить, с какой из двух: первой или второй совпадает третья экспрессия. Полученные результаты – более точное решение АВХ задачи для пар, находящихся в середине переходного ряда, свидетельствовали в пользу категориального характера восприятия экспрессий лица.

На этом принципе были основаны исследования Н. Эткофф и Дж. Мэги (Etcoff, Magee 1992) (стимульный материал – переходные ряды графических схем, построенных на основе фотоэталонов



Рис. 1. Дискриминационная АВХ задача

базовых экспрессий), А. Кальдера и Б. де Гельдер (Calder et al., 1996; Gelder, 1997) (стимульный материал – переходные ряды фотоизображений). Позднее данная методика была применена на детях (Pollak, Kistler, 2002). Проведенные исследования подтвердили наличие дискретности (категориальности) восприятия экспрессий лица.

Методические проблемы

Выполненный нами анализ литературных данных и пилотажные исследования решения АВХ задачи выявили ряд методических особенностей, неучтенных предшествующими авторами.

Теоретическая неравномерность кольцевого стимульного ряда

В работе А. Кальдера с соавт. (Calder et al., 1996), использовавшейся нами в качестве основы для отработки методики, демонстрировалось по 5 изображений (10, 30, 50, 70 и 90% морфы) состояний

лица трех переходных рядов: «радость–страх», «страх–гнев», «гнев–радость». По мнению Кальдера с соавт., данный прием позволял исключить краевые эффекты и обеспечить равное число предъявлений для каждого из входящих в ряд изображений. При этом они исходили из неявного предположения, что степень близости всех соседних изображений в стимульном ряду является одинаковой. Это означает, что идеально выполненный морфинг теоретически обеспечивает линейность и равномерность стимульного ряда. В действительности же это не всегда так. Предположим, что три исходных фотоизображения экспрессий (радость, страх и гнев) обладают равной степенью близости друг к другу. Их можно представить как три вершины равностороннего треугольника. Переходные ряды между исходными изображениями будут соответствовать сторонам этого треугольника (рисунок 2).

В таком случае степень близости между соседними изображениями, лежащими на одной и той же стороне треугольника, теоретически будет одинаковой. Однако, если принять ее за 1, то степень близости между смежными изображениями, лежащими на двух соседних сторонах треугольника, будет равна 0,5. Таким образом, при использовании «кольцевого» стимульного материала снижение точности различения пар, элементы которых принадлежат к разным переходным рядам, может отражать не категориальность восприятия, а особенности построения стимульного материала.

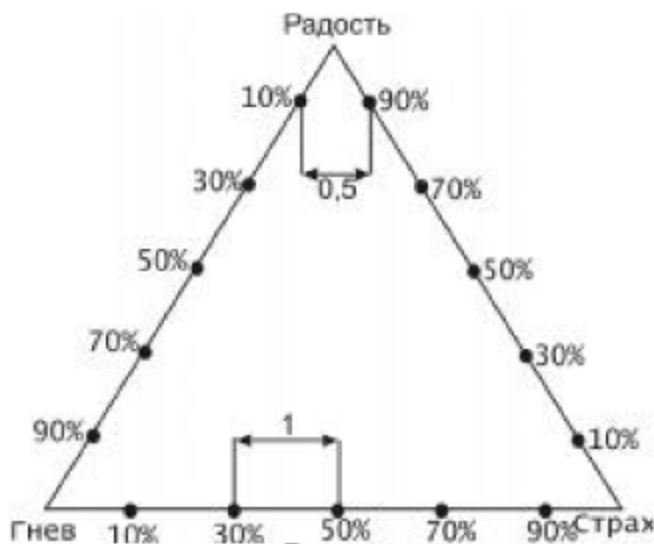


Рис. 2. Геометрическое представление стимульного материала по А. Кальдеру

Практическая неравномерность стимульного ряда

Существует ряд методов, позволяющих установить объективную меру сходства между графическими изображениями (Jacobs et al., 1995). Это дает возможность проверить, с одной стороны, насколько линейными и равномерными являются построенные путем морфинга переходные ряды, а с другой стороны, насколько похожи между собой исходные изображения, используемые для построения рядов.

Для решения данной задачи нами был применен метод, описанный Г. Хакеном (Haken, 2004) как часть предложенной им модели восприятия сложных изображений. Его идея состоит в попиксельном сопоставлении яркости изображений. Метод допускает сравнительно простую программную реализацию, но редко используется на практике из-за неэффективности на больших наборах изображений. Для определения меры сходства изображений используется следующий алгоритм:

- приведем все сравниваемые изображения к одному и тому же размеру;
- перенормируем значения отдельных элементов изображения так, чтобы выполнялись условия $\sum_{i=1}^N v_i = 0$ и $\sum_{i=1}^N v_i^2 = 1$, где v_i – элементы изображения;
- в качестве меры близости между изображениями a и b используем скалярное произведение между перенормированными изображениями $s = \sum_{i=1}^N a_i b_i$, которое будет принимать значения от -1 до 1 (полностью различными оказываются негатив и позитив).

Поскольку мы рассчитываем меру близости между достаточно похожими изображениями, выполняется условие $s > 0$, и для практических целей оказывается удобно использовать величину $1 - s$, причем двум одинаковым изображениям соответствует значение $1 - s = 0$.

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что равномерность и линейность переходных рядов, предлагавшихся в качестве стимульного материала, неидеальны. Типичный график зависимости $M(n)$ приведен на рисунке 3, где M – расчетная мера близости между началом стимульного ряда и заданным его элементом, а n – номер заданного элемента. Видно, что начальная часть графика имеет нелинейный характер.

Для компенсации неравномерности переходного ряда можно использовать следующий прием: построить переходный ряд с боль-

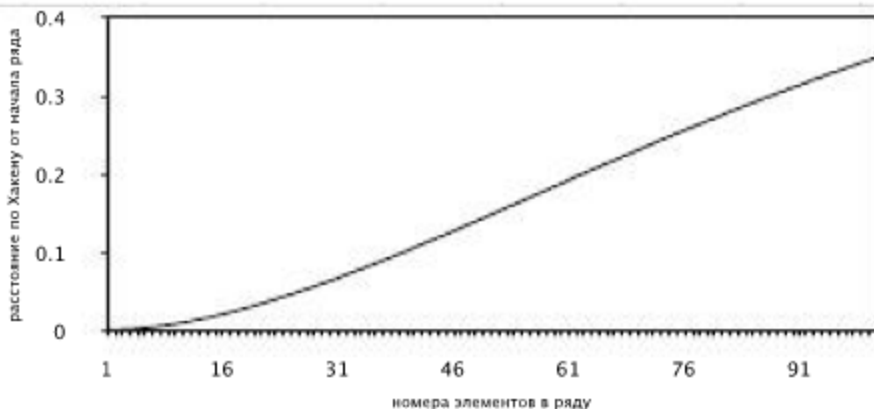


Рис. 3. Неравномерность переходного ряда, полученного в результате морфинга

шей, чем это необходимо, детально, а затем отобрать из него необходимый набор эквидистантных изображений.

Асимметрия экспозиций

Данные, полученные в ходе предварительных экспериментов, указывают, что точность решения испытуемыми АВХ задачи зависит от порядка следования экспозиций. Второе изображение (В) распознается более эффективно, чем первое (А). Существенно, что эффект асимметрии экспозиции не является специфичным для выражений лица. В контрольной серии в качестве стимульного материала использовались геометрические фигуры, представляющие собой переходный ряд между квадратом и кругом (рисунок 4). Время предъявления тест-объекта составляло 500 мс, шумовой маски – 1 сек. Полученный результат также свидетельствует об асимметрии восприятия. В случае $X=B$ точность опознания всех пар стремится к 100%. В случае $X=A$ точность значительно ниже и значимо различается для разных пар серии, правда, зависимость эффективности восприятия геометрических форм и изображений экспрессий от их места в переходном ряду ($X=A$) оказалась разной. В первом случае легче всего дифференцируются небольшие отклонения от «хороших форм» круга и квадрата, во втором – изображения экспрессий, расположенных в середине стимульного ряда. Это позволяет предположить, что категоризация эмоционального состояния лица и категоризация геометрических фигур реализуются различными психологическими механизмами. Сам же эффект категориальности вызван наличием разных условий сравнения и оценки эталонной экспрессии (X). При $X=B$ решение перцептивной задачи опирается на содержание иконической памяти и происходит как бы непосред-

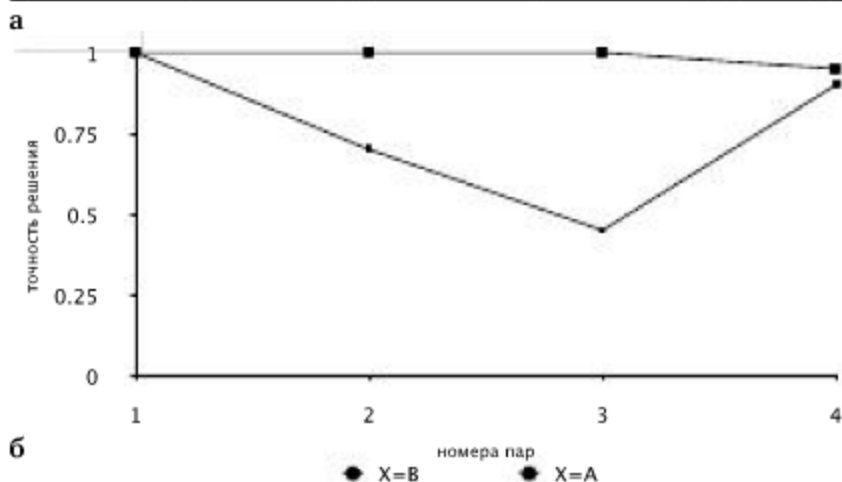
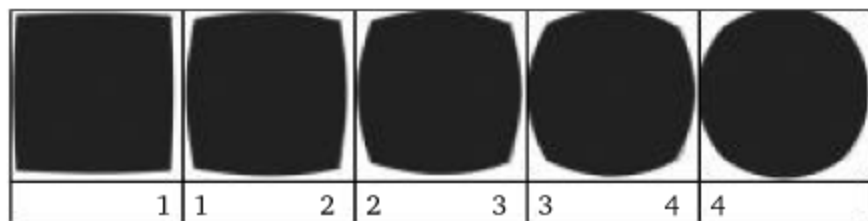


Рис. 4. Эффект асимметрии экспозиций

а – стимульный материал – простые геометрические фигуры; цифры соответствуют номерам пар, в которые входит данное изображение;

б – зависимость точности решения АВХ-задачи от номера пары для случаев X=A и X=B

венно в смежном зрительном поле. При X=A наблюдатель обращается к кратковременной памяти, а содержание экспрессии А подвергается многократной маскировке (угасанию и интерференции следов).

Психологическая неэквивалентность опорных изображений

Проводившиеся ранее эксперименты основывались на неявном предположении о субъективной (психологической) эквивалентности изображений, использовавшихся как опорные при построении переходного ряда. Однако в общем случае опорные изображения могут обладать разной валентностью (Левин, 2001) или «силой», т. е. одно из них из-за большей значимости может быть быстрее отнесено к той или иной категории, чем другое. В результате субъективный «центр» переходного ряда будет смещен в сторону более «слабого» изображения. Если перейти к рассмотрению микродинамики восприятия, то можно предположить, что более поздним стадиям перцептогенеза

будет соответствовать большая величина смещения центра переходного ряда. Косвенно это подтверждается материалами других исследований (Барабанчиков, 2002; Барабанчиков, Жегалло, 2007).

Организация исследования

Излагаемое исследование было направлено на изучение особенностей решения наблюдателем дискриминационной задачи при варьировании экспозиции экспрессий лица, степени их выраженности и дистанции между изображениями стимульного ряда. Его подготовка проводилась с учетом решения перечисленных выше методических проблем.

Исследование состояло из двух экспериментов, проводившихся с помощью специально подготовленной тахистоскопической компьютерной программы на базе графической библиотеки Allegro. В качестве стимульного материала использовались переходные ряды между фотоэталоном базовых экспрессий (Ekman, 2004; Ekman, Freisen, 1975).

Эксперименты состояли из тренировочной и основной частей. В тренировочной части эксперимента 1 использовались переходные ряды между сильно выраженными экспрессиями «радость–страх», «страх–гнев», «гнев–радость»; всего 15 пар изображений, каждая из которых предьявлялась в четырех вариантах, что составляло 60 предьявлений. Время экспозиции изображений лица – 300 мс, время экспозиции шумовой маски – 500 мс. Точность экспозиции составляла ± 12 мс (1 кадр при частоте кадровой развертки 85 Гц). Угловые размеры изображений при расстоянии до экрана 50 см – $7^\circ \times 9^\circ$.

В основной части эксперимента 1 использовались переходные ряды между фотоизображениями слабо выраженных экспрессий страха, презрения и отвращения. Каждый ряд состоял из двух опорных изображений, соответствующих «чистым» экспрессиям, и двух промежуточных, выбранных так, чтобы выполнялось требование эквидистантности (рисунок 5, таблица 1).

Таблица 1

Вычисленные различия (объективные расстояния)
между изображениями (эксперимент 1, основная серия)

страх– презрение	1 = 0,0168	2 = 0,0166	3 = 0,0162
презрение– отвращение	4 = 0,0157	5 = 0,0146	6 = 0,0141
отвращение– страх	7 = 0,0124	8 = 0,0138	9 = 0,0134

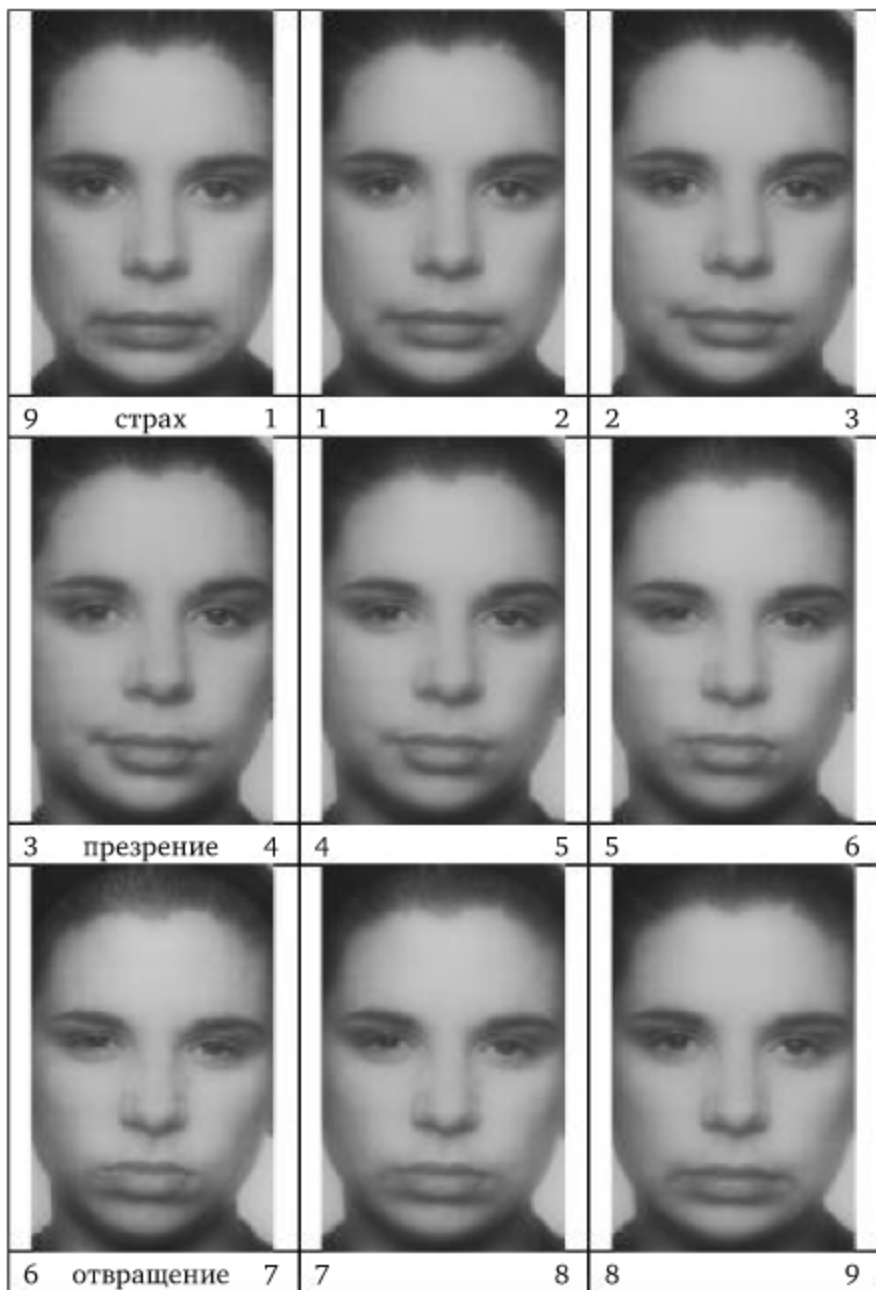


Рис. 5. Стимульный материал (1-й эксперимент, основная серия); цифры соответствуют номерам пар, в которые входит данное изображение

Основная часть включала 9 пар изображений экспрессий, предъявляемых в четырех вариантах (1,2,1; 1,2,2; 2,1,1; 2,1,2), всего 36 предъявлений. Данная последовательность повторялась четыре раза, что в общей сложности составило 144 предъявления.

После каждого предъявления испытуемый должен был, используя правую цифровую клавиатуру, указать, какой из двух экспозиций соответствовала третья: первой (1) или второй (2) и оценить уверенность в ответе: «уверен» (3) или «не уверен» (4). Ввод ответов подтверждался нажатием клавиши «0» (в момент подтверждения фиксировалось время реакции), начало очередной пробы – клавишей «пробел». Дополнительно фиксировалось время реакции. В эксперименте участвовали 108 человек – студенты Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского (81 женщина и 27 мужчин) в возрасте от 18 до 22 лет. Результаты эксперимента представляли собой лог-файлы в CSV (comma separated values) формате. Путем их объединения были сформированы сводные таблицы, включавшие данные по всем испытуемым, которые затем анализировались в пакете SPSS.

В эксперименте 2, построенном аналогичным образом, в тренировочной части использовался переходный ряд «страх–удивление», предъявляемых в четырех вариантах, что составляло 20 предъявлений.

В основной части использовались переходные ряды между фотоизображениями ярко выраженных экспрессий радости, страха и гнева. Каждый ряд состоял из двух опорных изображений, соответствующих «чистым» экспрессиям и четырех промежуточных (рисунок 6, таблица 2).

Основная часть включала 15 пар, предъявляемых в четырех вариантах (1,2,1; 1,2,2; 2,1,1; 2,1,2) – всего 60 предъявлений. Последовательность из тренировочной и основной частей повторялась 3 раза при разном времени экспозиции изображений лица (750 мс, 300 мс и 100 мс). Время экспозиции шумовой маски во всех случаях составляло 500 мс.

В эксперименте участвовали 138 человек – студенты Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского (100 женщин и 38 мужчин) в возрасте от 18 до 22 лет.

Зависимость точности решения дискриминационной задачи от выраженности экспрессии

При подготовке экспериментов предполагалось, что точность решения дискриминационной задачи для переходных рядов, построенных на базе слабо выраженных экспрессий, будет существенно ниже,

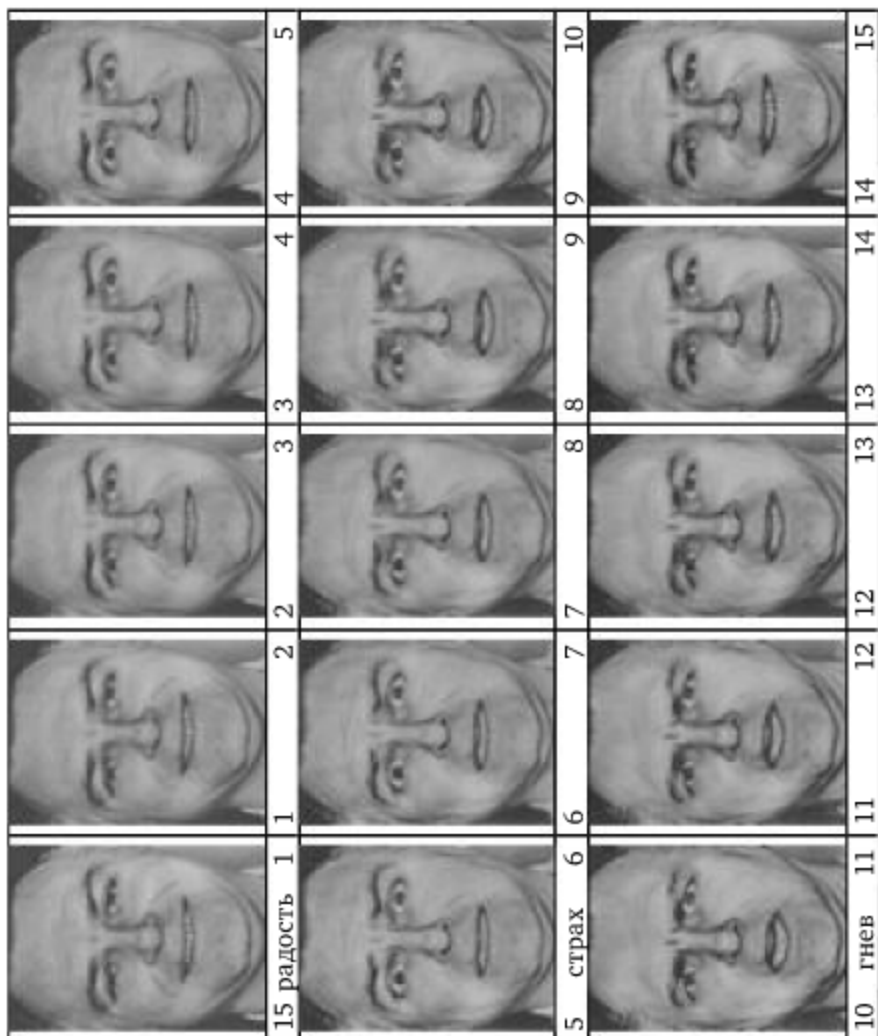


Рис. 6. Стимульный материал (2-й эксперимент, основная серия); цифры соответствуют номерам пар, в которые входит данное изображение

Таблица 2

Вычисленные различия (объективные расстояния)
между изображениями (2-й эксперимент, основная серия)

радость–страх	1 = 0,0253	2 = 0,0257	3 = 0,0253	4 = 0,0250	5 = 0,0248
страх–гнев	6 = 0,0263	7 = 0,0244	8 = 0,0253	9 = 0,0258	10 = 0,0270
гнев–радость	11 = 0,0393	12 = 0,0391	13 = 0,396	14 = 0,0388	15 = 0,0382

чем для ярко выраженных экспрессий. Основания для этой гипотезы можно найти в работах В. А. Барабанщикова (2002) и П. Экмана (2004). В силу сделанного предположения длина переходных рядов во втором эксперименте увеличивалась до 5 пар. Согласно расчетам различия между элементами пар, используемых в эксперименте 1, были в 2–3 раза меньше, чем в эксперименте 2.

Результаты исследования показали, однако, что точность решения дискриминационной задачи в первом эксперименте оказалась сопоставимой, а в ряде случаев – более высокой, чем точность решения во втором эксперименте при экспозиции изображений на 300 мс (рисунок 7, 8). Возможное объяснение данного феномена состоит в том, что используемый наблюдателями способ дифференциации выражений лица опирается не на «поточечное сопоставление» изображений, а на выделение и сопоставление субъективно значимых особенностей и структуру экспрессий лица в целом.

В любом случае степень выраженности эмоциональных состояний (в исследованном диапазоне значений) не является решающим обстоятельством при дифференциации их различий.

Зависимость точности идентификации экспрессий от длительности и последовательности экспозиций

Связь точности решения дискриминационной задачи с номером пары в переходном ряду устанавливалась посредством однофакторного дисперсионного анализа. Согласно полученным данным, точность решения дискриминационной задачи действительно зависит от длительности и последовательности экспозиций и тесно связана с модальностью экспрессий переходного ряда.

В первом эксперименте для переходного ряда «страх–презрение» максимум точности решения соответствует первой паре переходного ряда, «презрение–отвращение» – середине ряда. Точность решения задачи для переходного ряда «отвращение–страх» во всех парах остается примерно одинаковой и значимо не различается (рисунок 7). Это означает, что результаты, полученные с помощью описанной методики, широко варьируют, указывая не только на дискретность, но и на возможность непрерывности восприятия экспрессий лица (для ряда «отвращение–страх»). Дискретность, или категориальность восприятия, может иметь, по крайней мере, две формы: с центральной либо смещенной эффективностью решения. Последнее свидетельствует о том, что промежуточные состояния не всегда ведут к «ретушированию» категории, а обнаруживаемые формы проявления категориальности могут быть интерпретированы в терминах разной субъективной значимости опорных экспрессий.

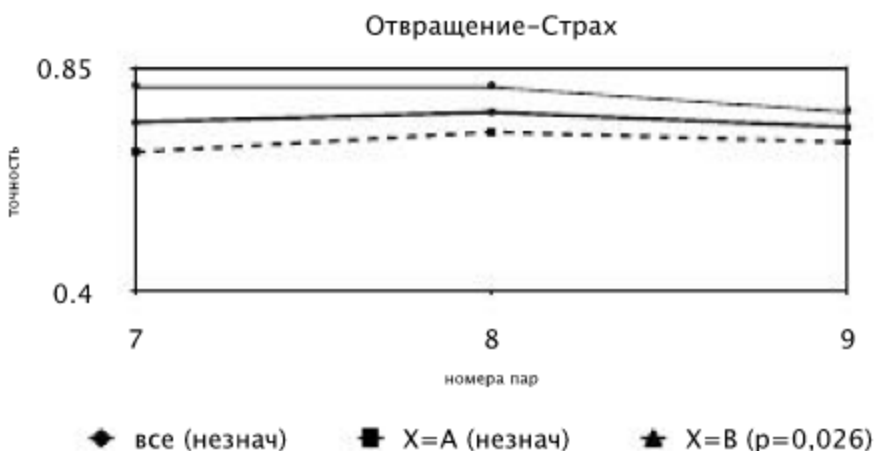
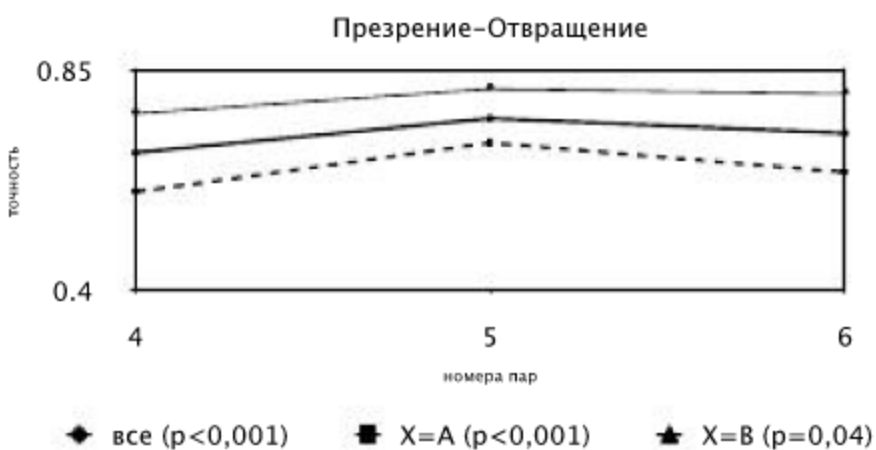
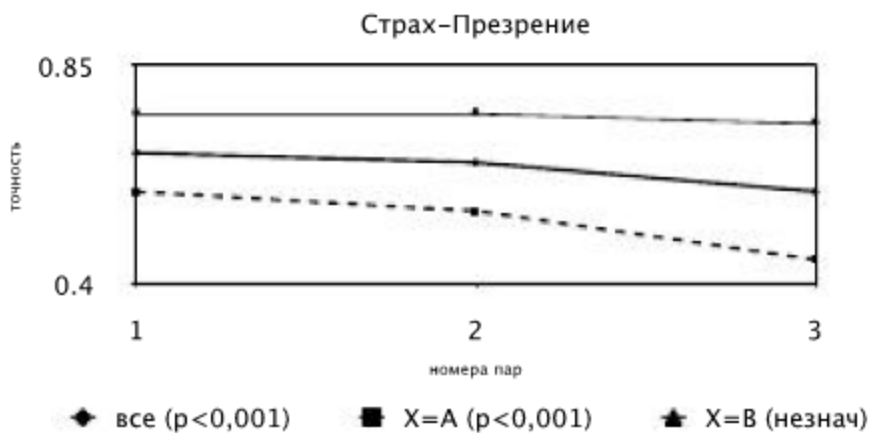


Рис. 7. Зависимость точности решения дискриминационной задачи от номера пары в переходном ряду (эксперимент 1)

Во втором эксперименте (рисунок 8) для переходных рядов «радость–страх» и «страх–гнев» значимая зависимость точности распознавания от номера пары наблюдается при всех временах предъявления: 750 мс, 300 мс и 100 мс. При этом позиция, соответствующая максимальной точности решения, не остается неизменной. Для переходного ряда «радость–страх» она смещается от 2-й пары при 750 мс к 3-й паре при 300 и 100 мс. Для переходного ряда «страх–гнев» происходит смещение от 9-й пары (750 и 300 мс) к 8-й при 100 мс с одновременным образованием второго максимума, соответствующего 10-й паре. Для переходного ряда «гнев–радость» значимая зависимость точности решения от времени предъявления выявлена только при временах предъявления 300 мс и 100 мс. Максимум в обоих случаях соответствует 13-й паре, но при 100 мс он выражен более четко.

Таким образом, максимум точности решения АВХ задачи является функцией времени. Его смещение вызвано ярко выраженной экспрессией страха. При ее слабой выраженности (эксперимент 1) валентность, или субъективная значимость экспрессии оказывается низкой. В структуре индивидуального опыта эмоции радости и гнева выступают как равнозначные.

Как и ожидалось, в обоих экспериментах точность решения для случая $X = A$ оказалась ниже, чем для случая $X = B$. Уровень значимости зависимости точности решения от номера пары при $X = B$ оказывается существенно ниже, чем при $X = A$ и при $X = A \vee B$ (полная выборка), за исключением переходного ряда «отвращение–страх» в эксперименте 1.

Дополнительные показатели решения дискриминационной задачи

Для установления дополнительных показателей эффективности решения АВХ задачи проводился анализ переменных, характеризующих уверенность испытуемых в даваемых ответах. Выделялись:

- правильные ответы, в которых испытуемый был уверен – Yy ;
- правильные ответы, в которых испытуемый не был уверен – Yn ;
- неправильные ответы, в которых испытуемый был уверен – Ny ;
- неправильные ответы, в которых испытуемый не был уверен – Nn .

Согласно полученным данным (рисунок 9, 10), частота правильных уверенных ответов (Yy) существенно выше частот всех остальных

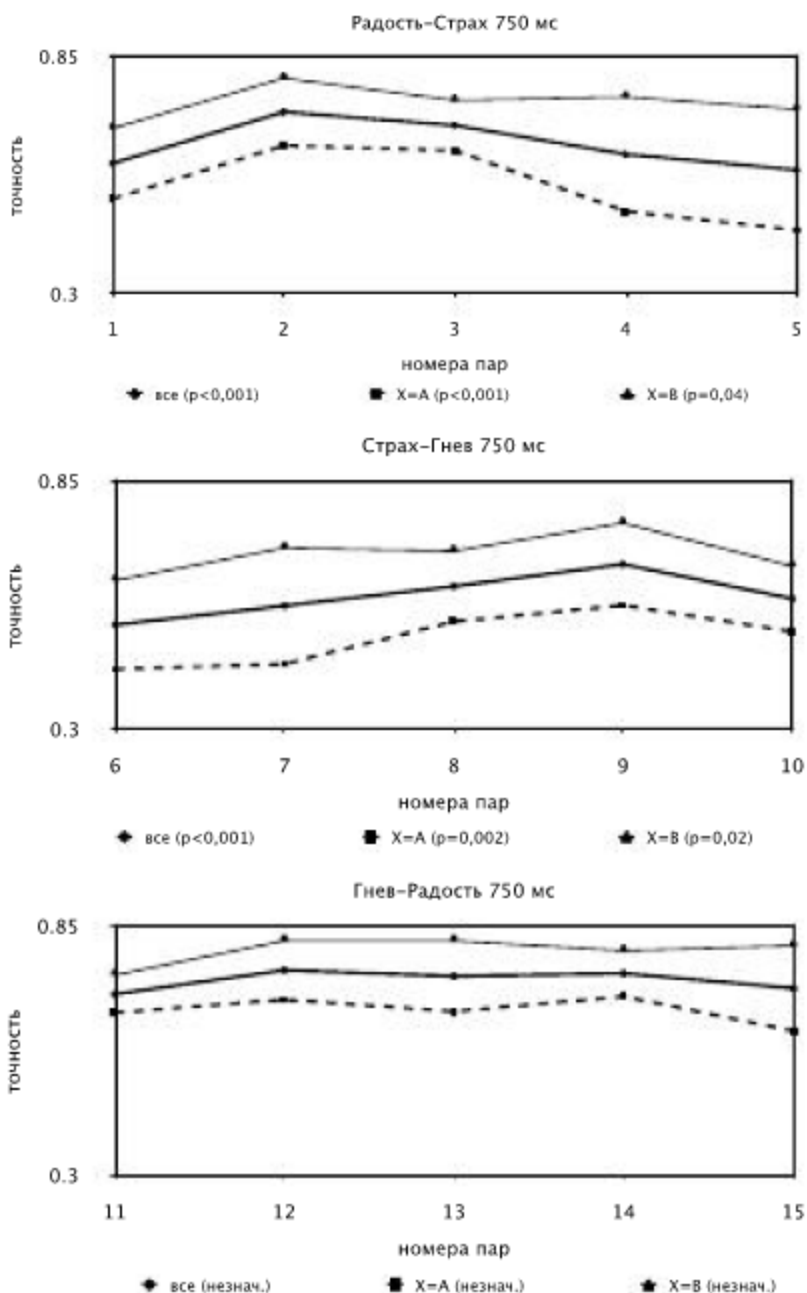
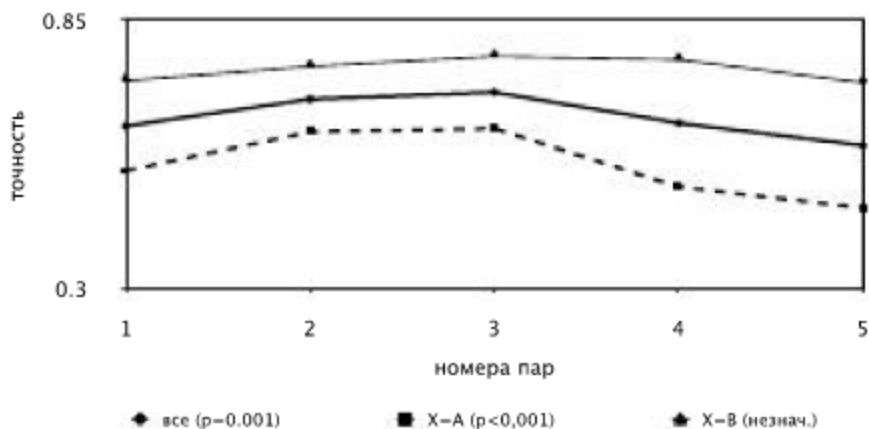
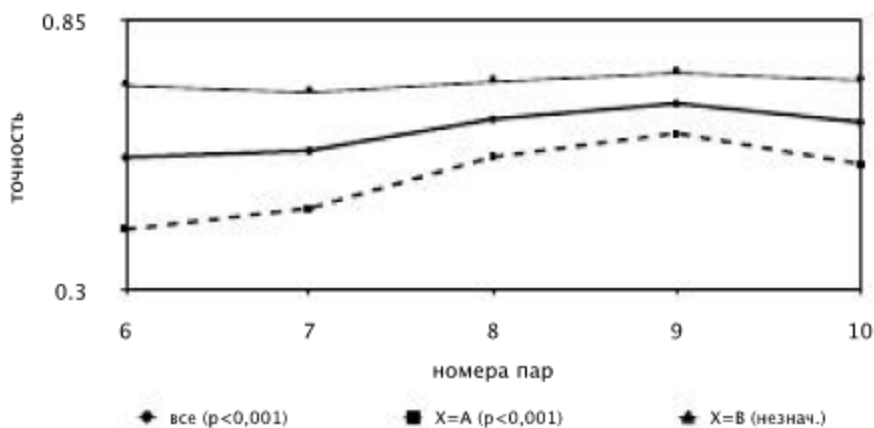


Рис. 8. Зависимость точности решения дискриминационной задачи от номера пары в переходном ряду (эксперимент 2)

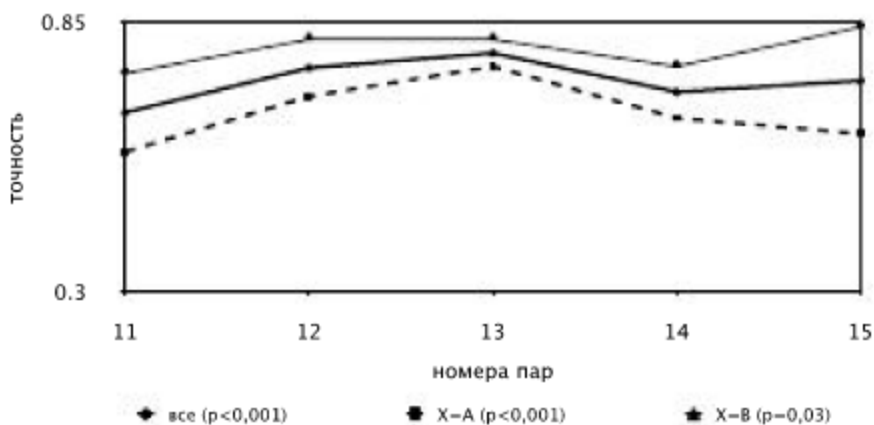
Радость-Страх 300 мс



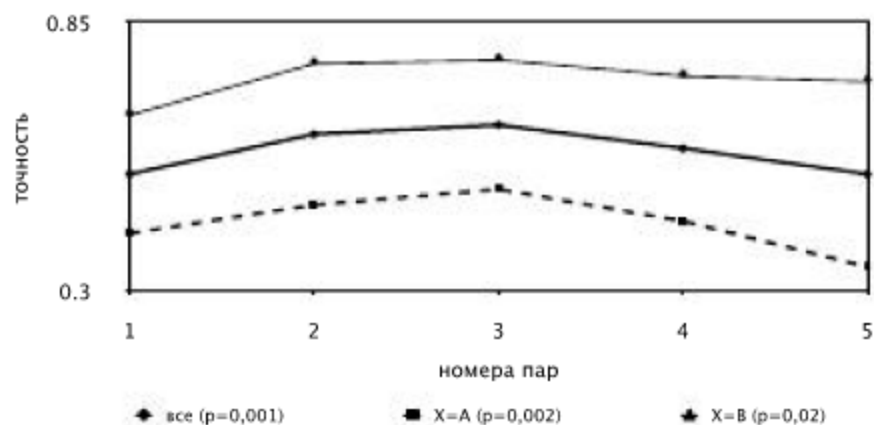
Страх-Гнев 300 мс



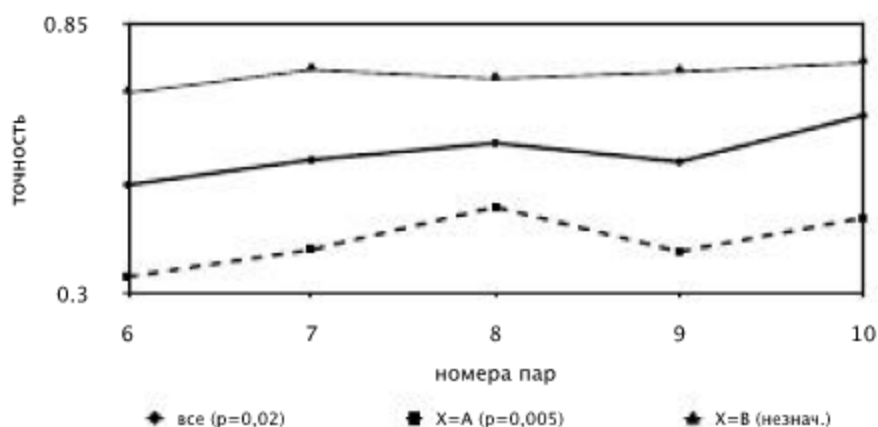
Гнев-Радость 300 мс



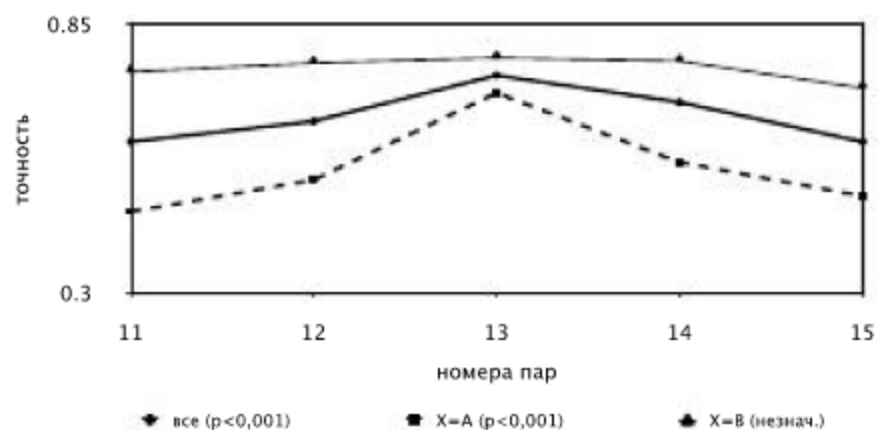
Радость-Страх 100 мс



Страх-Гнев 100 мс



Гнев-Радость 100 мс



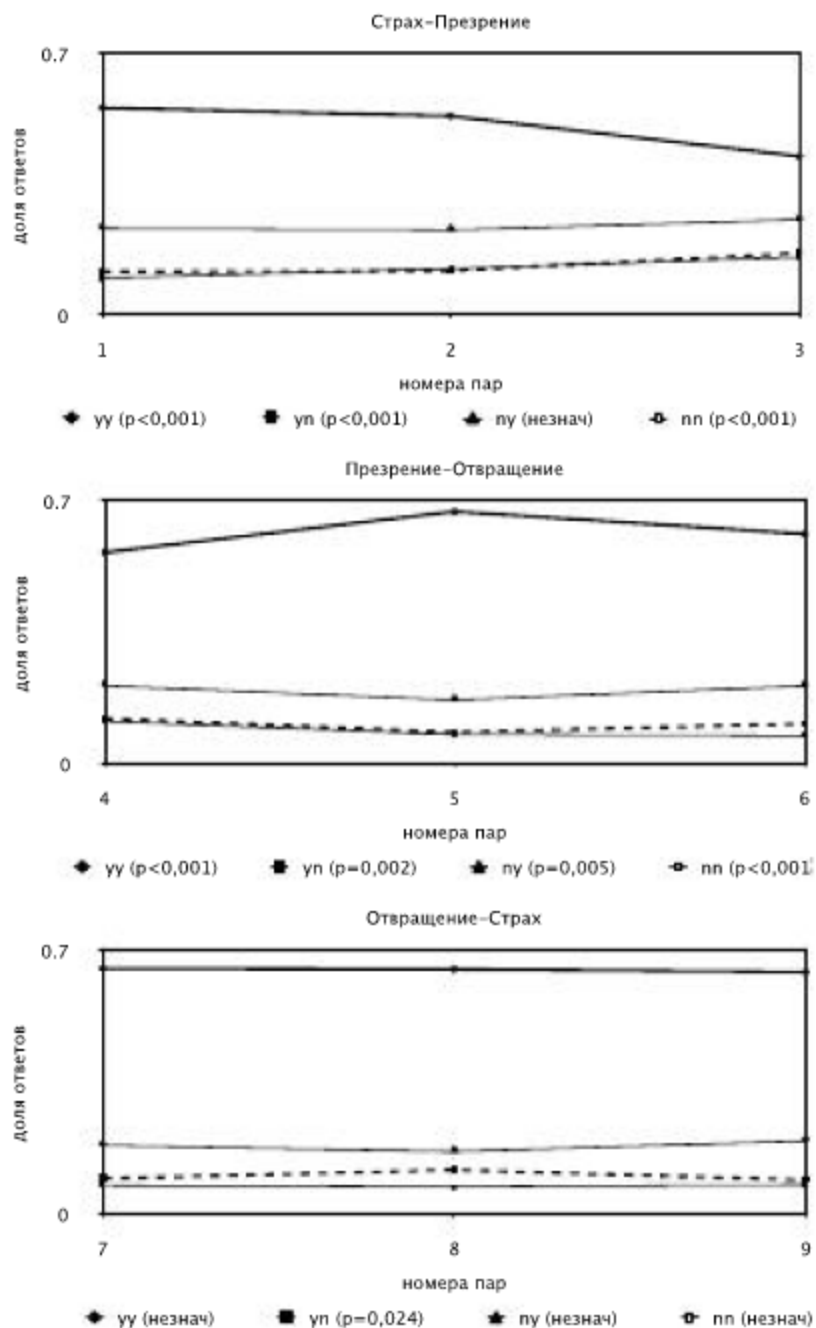


Рис. 9. Зависимость уверенности решения дискриминационной задачи от номера пары в переходном ряду (эксперимент 1)

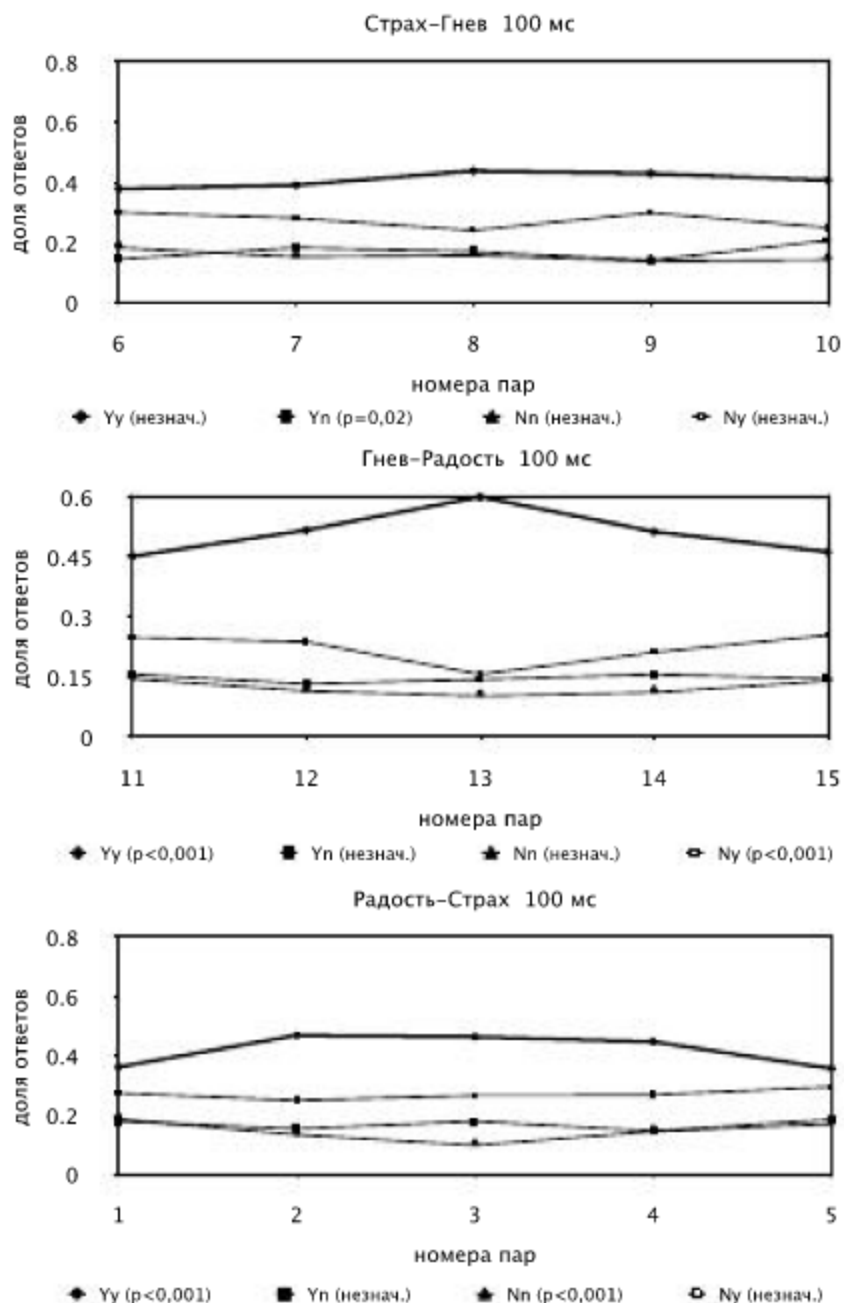
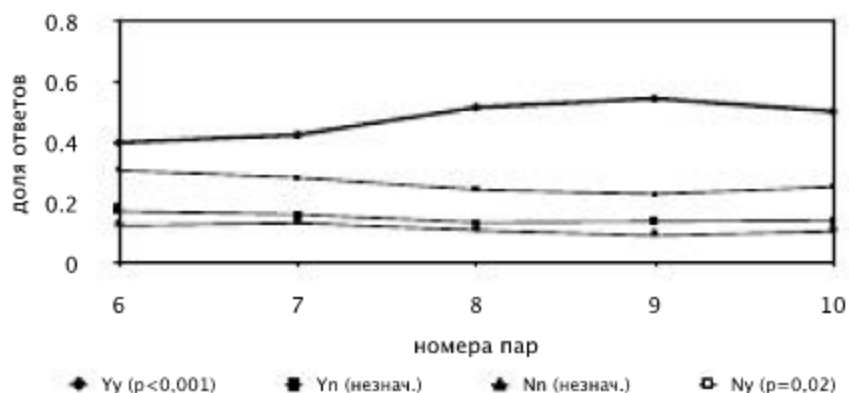
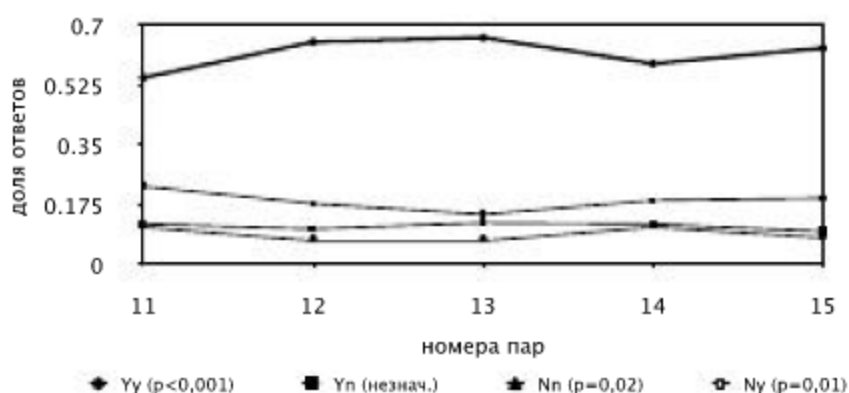


Рис. 10. Зависимость уверенности решения дискриминационной задачи от номера пары в переходном ряду (эксперимент 2)

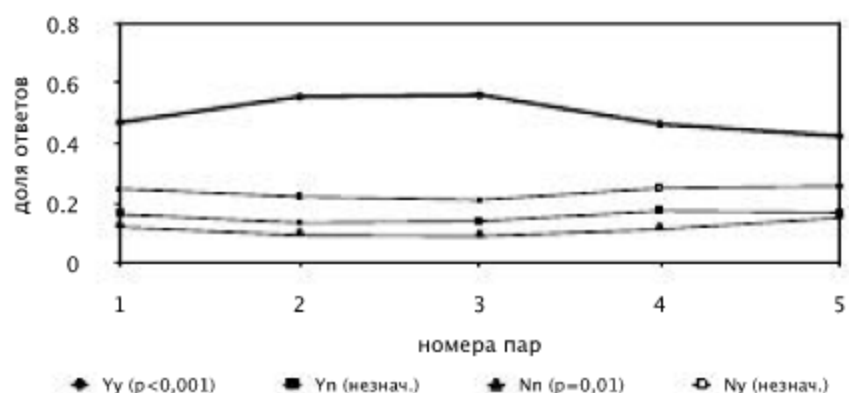
Страх-Гнев 300 мс



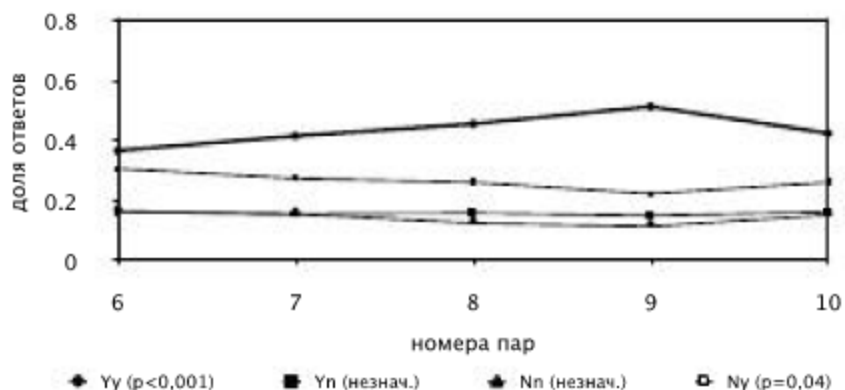
Гнев-Радость 300 мс



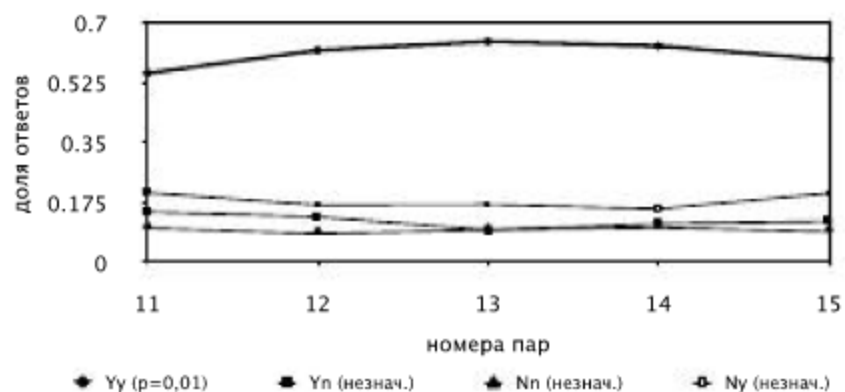
Радость-Страх 300 мс



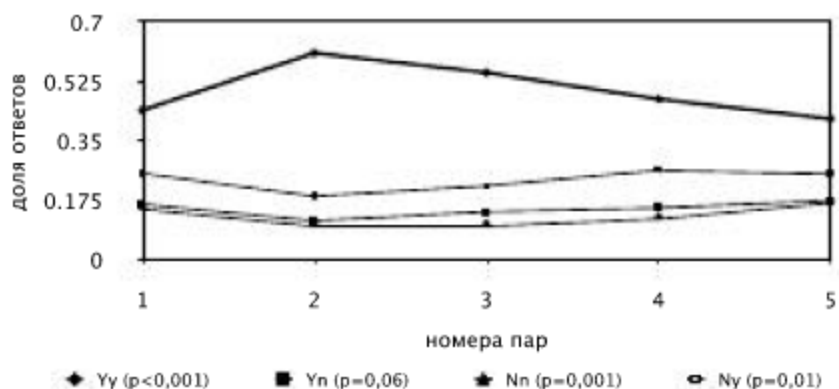
Страх-Гнев 750 мс



Гнев-Радость 750 мс



Радость-Страх 750 мс



категорий ответов и колеблется в пределах 0,3–0,7. При этом уровень наиболее высоких значений Y_u зарегистрирован в эксперименте 1, т. е. тогда, когда различия между парами выражены наиболее слабо. Зависимость частоты правильных уверенных ответов от номера пары в переходном ряду согласуется с усредненной функцией точности решения АВХ задачи. Это указывает на то, что сложность и адекватность идентификации экспрессий неплохо осознаются наблюдателем и могут контролироваться им. Сама же функция Y_u выглядит как дополнительный показатель успешности решения дискриминационной задачи. В меньшей степени на эту роль претендует функция частоты правильных ответов, в которых испытуемый не уверен (Y_n). В отличие от Y_u показатель Y_n изменяется в узком диапазоне значений (0,1–0,35) и носит обратный характер: с увеличением точности различения экспрессий частота Y_n снижается. Динамика неправильных ответов безотносительно к уверенности (N_u) либо неуверенности (N_n) испытуемого совершается в очень узком диапазоне и, как правило, статистически незначима. Использование N_u и N_n в качестве показателей эффективности решения дискриминационной задачи практически исключено.

На основании данных 2-го эксперимента для каждого испытуемого и времени экспозиции изображений лица были рассчитаны средние значения величин O_k , Y_u , Y_n , N_u , N_n и D_{ab} (разница в долях правильных ответов для случаев $X = A$ и $X = B$). Для выявления зависимости ответов от времени экспозиции использовался однофакторный дисперсионный анализ. Значимая зависимость от времени предъявления обнаружена для всех показателей, кроме Y_n (рисунок 11).

Доля правильных ответов при времени предъявления 750 мс составляет 0,65; при 300 мс – немного возрастает – до 0,67, а при 100 мс падает до 0,6. Та же закономерность прослеживается для доли правильных уверенных ответов: небольшой рост с 0,51 до 0,53 при уменьшении времени предъявления от 750 до 300 мс и существенное снижение до 0,44 при времени предъявления 100 мс. Таким образом, максимальная точность решения достигается при 300 мс. Доля неверных неуверенных ответов снижается с 0,12 при 750 мс до 0,10 при 300 мс, а затем возрастает до 0,14 при 100 мс.

Доля правильных неуверенных ответов для всех трех времен предъявления остается практически постоянной. Доля неверных уверенных ответов (величина ложной уверенности) при уменьшении времени предъявления возрастает с уменьшением длительности времени предъявления (и вызванным этим снижением точности решения) от 0,23 при 750 мс до 0,26 при 100 мс.

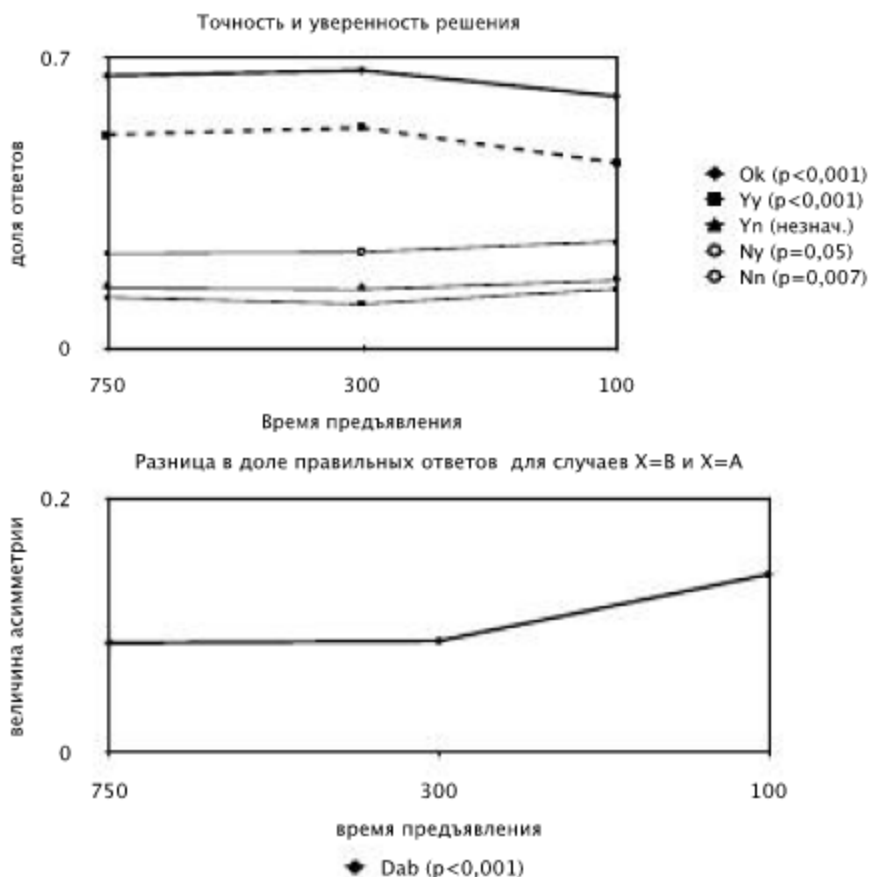


Рис. 11. Зависимость ответов испытуемых от времени экспозиции экспрессий лица (эксперимент 2)

Показатель асимметрии остается практически неизменным при 750 и 300 мс (0,086 и 0,087 соответственно) и возрастает до 0,14 при 100 мс.

Таким образом, не только точность, но и уверенность в выполнении АВХ задачи могут служить показателями микродинамики восприятия экспрессий лица.

Динамика научения

4-кратный повтор всей последовательности предъявлений в 1-м эксперименте дал возможность провести анализ точности решения АВХ задачи в каждой подсерии (рисунок 12). Кроме того, для каждой из подсерий были рассчитаны значения переменных Ok, Yy, Yn, Ny, Nu и времени реакции Tr (рисунок 13).

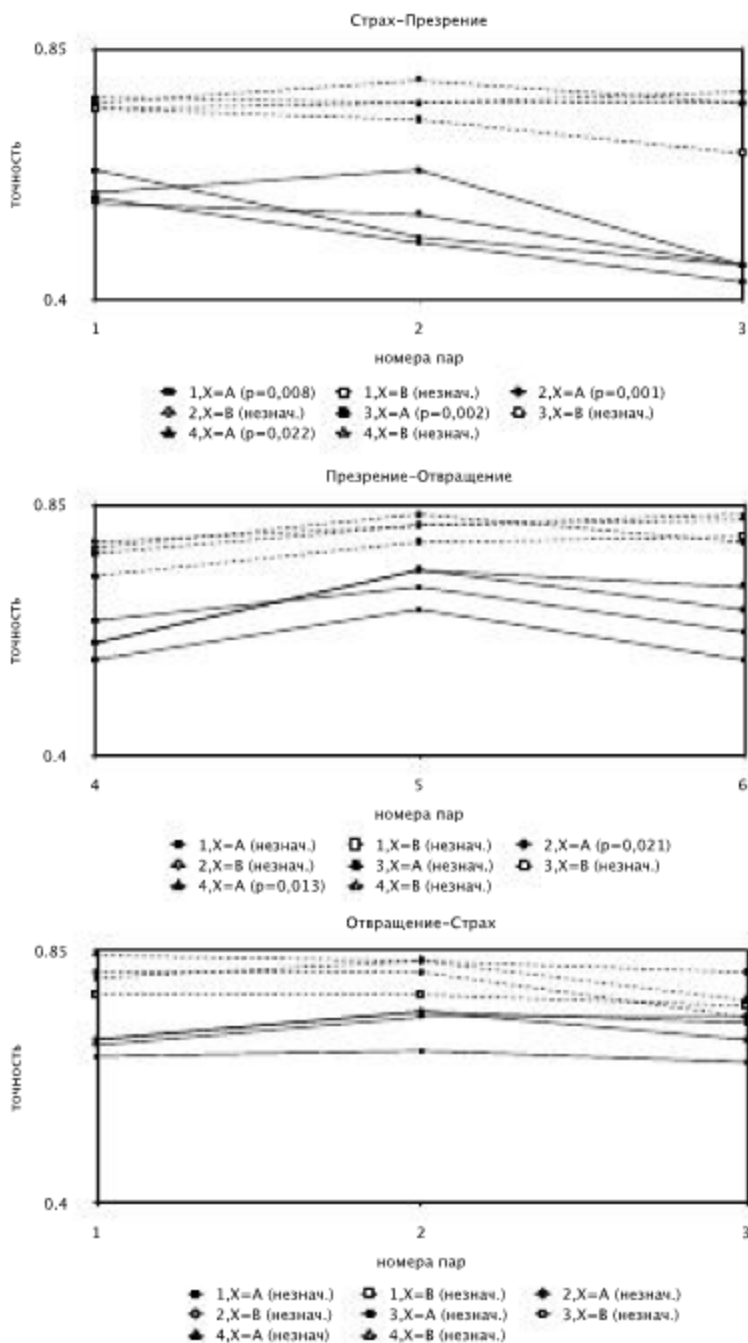


Рис. 12. Зависимость точности решения дискриминационной задачи от номера пары для стимульной последовательности, повторяемой 4 раза (эксперимент 1)

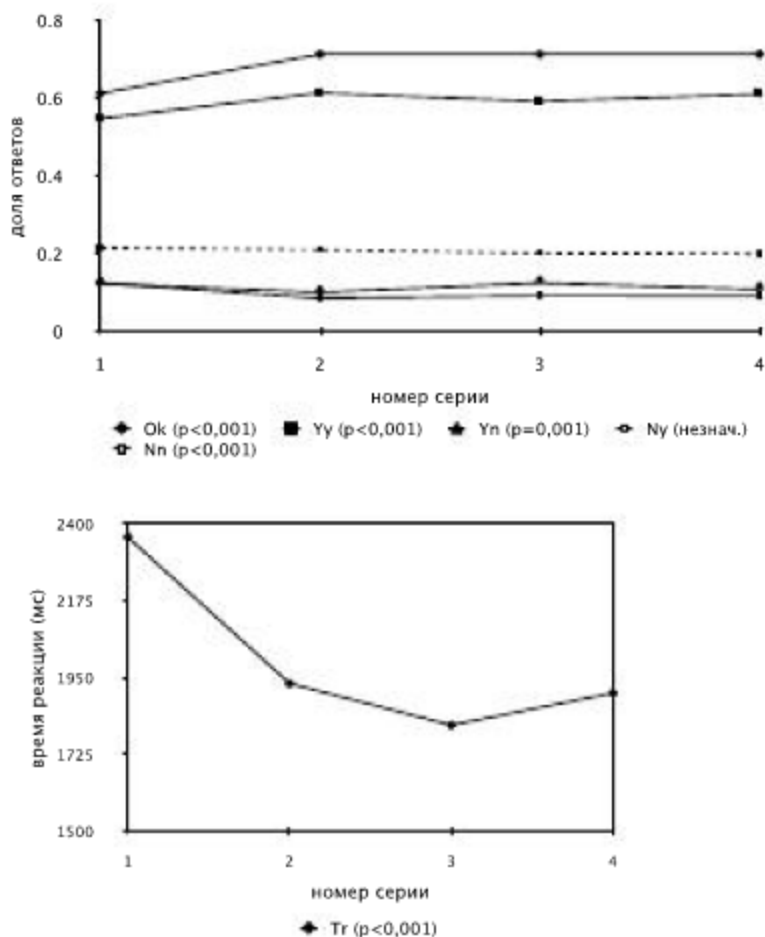


Рис. 13. Характеристики решения дискриминационной задачи для стимульной последовательности, повторяемой 4 раза (эксперимент 1)

Результаты расчетов показывают, что первая подсерия характеризуется значительно более высокой трудностью решения, чему соответствует относительно большое время реакции и относительно низкая доля правильных и уверенно-правильных ответов. В дальнейших сериях время реакции снижается и стабилизируется, а доля правильных и уверенно-правильных ответов становится более высокой. Следовательно, тренировочная серия в эксперименте 1 не обеспечила в полной мере оптимального уровня выполнения задания. Согласно полученным результатам, плато в научении достигается в среднем через 100 экспозиций.

Особенности идентификации эмоциональных состояний лица в микроинтервалах времени

Полученные результаты указывают, что категориальность восприятия экспрессий лица, т. е. зависимость точности решения АВХ задачи от номера пары в переходном ряду проявляется лишь на фоне определенного уровня эффективности решения. Этот уровень обуславливается рядом обстоятельств: содержанием стимульного материала, временами экспозиции экспрессий и маски, угловыми размерами изображения, порядком следования тест-объектов, индивидуальными особенностями испытуемых. Верхний критический уровень эффективности опознания, при превышении которого эффект категориальности не наблюдается, составляет около 70%. Снижение эффективности решения до уровня 40–50% приводит к появлению устойчивого эффекта. В частности, отсутствие значимых различий в точности дифференциации для отдельных пар переходного ряда «гнев–радость» при времени предъявления 750 мс можно объяснить меньшей сложностью данной задачи по сравнению с аналогичной для переходных рядов «радость–страх» и «страх–гнев». Обнаруженная зависимость затрудняет изучение категориальности восприятия экспрессий лица на микроинтервалах времени.

Смещение максимума точности при увеличении времени экспозиции вызвано усилением значимости экспрессии страха по сравнению с экспрессиями радости и гнева. Сами же экспрессии радости и гнева воспринимаются как равнозначные. Это позволяет использовать процедуру решения АВХ задачи для дифференциации относительной валентности опорных экспрессий и не зависит (во всяком случае прямо) от выраженности мимических проявлений.

Категориальность восприятия экспрессий лица является функцией времени. Учет этого обстоятельства делает возможным более тесное включение феномена категориальности в модель этапов процесса восприятия экспрессий лица, предложенную ранее (Барбанщиков, 2002; 2004; Барбанщиков, Жегалло, 2007). В этой связи по-новому выступает и соотношение дискретности/непрерывности восприятия экспрессий. Согласно полученным данным существует дискретный набор базовых экспрессий, границы между которыми могут непрерывно меняться.

Эффект асимметрии экспозиции существенно увеличивается при увеличении трудности задачи, связанной с уменьшением времени предъявления изображения лица. Возможное направление дальнейших исследований состоит в изучении влияния на величину эффекта асимметрии других факторов, влияющих на трудность решения дискриминационной задачи (угловых размеров изображений,

продолжительности предъявления маски, величины дистанции разницы между изображениями в паре). Можно предположить, что увеличение трудности дискриминационной задачи в любом случае вызывает рост величины асимметрии экспозиции.

Проведенная работа позволяет заключить, что решение АВХ задачи является полезной экспериментальной процедурой при изучении восприятия экспрессий лица. Однако ее результаты существенно зависят от сложности дискриминационной задачи, связанной с рядом объективных (последовательность экспозиций, время предъявления, легкость различения) и субъективных (личностные характеристики испытуемого) детерминант. В силу этих обстоятельств исследования, выполненные с помощью данной методики, не могут дать однозначного ответа на вопрос о дискретности (категориальности) или непрерывности восприятия экспрессий лица. Своеобразным развитием методики может стать адаптивный эксперимент, в котором сложность дискриминационной задачи подбирается автоматически для каждого испытуемого, переходного ряда и времени экспозиции. Другая возможная линия исследований – трансформация самой АВХ задачи. И в том и в другом случае целесообразно иметь в виду, что показателем эффективности дифференциации экспрессий лица выступает не только точность, но и уверенность наблюдателя в принятом решении.

ЛИТЕРАТУРА

- Барабанщиков В. А. Восприятие и событие. СПб.: Алетейя, 2002.
- Барабанщиков В. А., Носуленко В. Н. Системность. Восприятие. Общение. М.: Изд-во ИП РАН, 2004.
- Барабанщиков В. А., Жегалло А. В. Качество восприятия эмоционального состояния человека и основы его моделирования // Методы исследования психологических структур и их динамики. М.: Изд-во ИП РАН, 2007. Вып. 4. С. 92–116.
- Вундт В. Основы физиологической психологии. М.: Изд-во Н. А. Абрикосова, 1980.
- Изард К. Психология эмоций. СПб.: Питер, 2000.
- Левин К. Динамическая психология. М.: Смысл, 2001.
- Bruce V., Young A. In the eye of beholder. The science of face perception. N. Y.: Oxford University Press, 2000.
- Calder A. J., Young A. W., Perrett D. I., Ectoff N. L. and Roland D. Categorical Perception of Morfed Facial Expressions // Visual Cognition. 1996. 3 (2). P. 81–117.
- Gelder B. de, Teunisse J-P., Benson P. Categorical Perception of Facial Expressions: Categories and their Internal Structure // Cognition and emotion. 1997. Vol. (1). P. 1–23.

- Ekman P.* Emotions revealed. N. Y.: An owl Book, 2004.
- Ekman P., Friesen W., Ellsworth P.* Emotion in the human face. N. Y.: Pergamon, 1972.
- Ekman P., Friesen W.* Unmasking the face. N. Y.: Prentice-Hall, 1975.
- Etcoff N.L., Magee J.J.* Categorical perception of facial expressions // *Cognition*. 1992. 44, P. 281–295.
- Haken H.* Synergetic Computers and cognition. A Top-Down Approach to Neural Nets. Second Enlarged Edition. Springer-Verlag, 2004.
- Jacobs C., Finkelstein A., Salesin D.* Fast Multiresolution Image Querying // *Proc SIGGRAPH-95*. P. 277–295.
- Pollak S.D., Kistler D.J.* Early experience is associated with the development of categorical representations for facial expressions of emotion // *PNAS* 2002. 99. 9072–9076; originally published online. 2002. Jun 18.
- Rowland D.A., Perrett D.I.* Manipulating facial appearance through shape and color // *IEEE computer graphics and applications*. 1995. Vol. 15. P. 70–76.
- Woodworth R., Schlosberg H.* Experimental psychology. N. Y.: Holt, 1954.

ГЛАВА 9

ПСИХОФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАВЫКА ЧТЕНИЯ

Введение

Чтение представляет собой один из наиболее сложных и в то же время совершенных когнитивно-перцептивных навыков из числа тех, которыми приходится овладевать человеку. В самом общем виде его можно определить как извлечение информации из текста – системы знаков письменного языка. Роль чтения в обучении, развитии и воспитании людей общеизвестна и неоспорима. С книгой, с текстами человеку приходится сталкиваться на протяжении всей жизни. Чтение является не только условием профессионального развития, но и важным средством деятельности для целого ряда профессий.

Одной из главных проблем организации деятельности человека с текстовой (или шире – знаковой) информацией является обучение навыку считывания – переводу графем в фонемы, извлечению значений слов и связыванию их в более сложные лингвистические конструкции. Первоначально этот навык складывается в русле обучения грамоте, но отнюдь не сводится к ней. Чтение превращается в вид познавательного действия и даже в разновидность деятельности. Это значит, что его развитие, устойчивость и эффективность существенным образом связаны с целями, условиями и средствами деятельности.

Считывание текстовой информации является компонентом подавляющего большинства видов трудовой деятельности. Для многих же эффективность считывания текстовой информации с заданными параметрами является критическим фактором, учитывая разнообразие способов ее предъявления, а также требований к скорости и точности ее восприятия. В связи с этим важным фактором подготовки к таким профессиям (к ним относятся большинство профессий операторского типа) должна стать специальная

тренировка навыка чтения, адаптированная к конкретным условиям деятельности.

Следует подчеркнуть, что эти и многие другие прикладные проблемы невозможно решить без познания фундаментальных принципов организации навыка чтения, тех процессов, на которых этот навык строится. Ниже мы достаточно бегло опишем основные компоненты функциональной структуры навыка чтения. Будет также затронут вопрос об эффективности процесса чтения и методах ее измерения. Далее мы изложим результаты экспериментального исследования устойчивости навыка чтения в условиях динамического предъявления текстовой информации. Такой режим предъявления и дополнительные манипуляции пространственными параметрами текста избирательно влияют на систему перцептивно-окуломоторных механизмов чтения, что позволяет проверить ряд гипотез о факторах, оказывающих решающее влияние на скорость чтения.

Модели сформированного процесса чтения

Прежде всего зададимся вопросом: существует ли одна-единственная модель чтения? Для ответа на него нужно рассмотреть критерии эффективности чтения и факторы, от которых она зависит.

Эффективность чтения обычно характеризуется двумя параметрами – скоростью чтения и степенью понимания текста. Средняя скорость для популяции старшеклассников и студентов составляет примерно 180–200 слов/мин. Скорость 100 слов/мин считается медленной, а 500–600 слов/мин – очень быстрой (Лезер, 1980; Gibson, Levin, 1975; Rayner, Pollatsek, 1989). Важно отметить, что скорость чтения не остается постоянной на протяжении всего текста, а варьирует в широких пределах в зависимости от локальных трудностей извлечения информации (конец строки, длинное или незнакомое слово и т. п.). Эти вариации чаще всего и являются предметом изучения в исследованиях, цель которых состоит в раскрытии внутренних механизмов чтения. Однако из текстов, прочитанных с одинаковой скоростью, может быть извлечено разное количество информации или даже просто разная информация. Различия в понимании могут отражаться и в степени обобщения информации, и в форме ее репрезентации. Поэтому эффективность чтения правильно рассматривать как функцию темповой (скорость) и когнитивной (уровень понимания) компонент. Избираемая читателем скорость чтения зависит:

- от цели чтения (просмотр, поиск главной мысли, углубленное изучение, понимание инструкций и указаний для деятельности и др.) и вытекающей из нее желаемой степени и качества понимания;

- от лингвистических и тематических особенностей текста и плотности содержащейся в нем информации;
- от имеющихся знаний и умений чтеца – его общего культурного, интеллектуального и образовательного уровня, интеллектуальных способностей, сформированности навыков работы с текстовой информацией;
- от мотивационно-эмоционального отношения к тексту и внутреннего состояния чтеца;
- от внешних условий чтения (перцептивно-графических, освещенности, шума и т. п.).

Таким образом, вряд ли можно утверждать, что существует единственный процесс чтения. Правильнее будет говорить о множестве процессов чтения, которые, конечно, нельзя описать посредством одной модели. Поэтому подход к исследованию чтения может состоять либо в конструировании множества моделей, соответствующих конкретным условиям, либо в поиске общих принципов, в контексте которых могут быть рассмотрены многочисленные переменные процесса чтения. Мы коснемся обоих этих подходов по очереди.

Модели переработки информации при чтении

В основе анализа переработки информации лежит допущение о фиксированной временной последовательности стадий, начиная с сенсорного входа и вплоть до того или иного выхода или ответа. Контуры обратной связи могут быть включены с любого места этой цепочки стадий, или функциональных блоков. Одной из самых популярных среди информационных моделей чтения является та, которая была предложена Дж. Маквортом (Maskworth, 1968).

Если попытаться кратко описать эту модель, то на входе ее находится зрительная информация, получаемая глазом по параллельному входу за время единичной фиксационной паузы, длящейся в среднем 250 мс. Сенсорный зрительный след этой информации сопоставляется со следами слов, хранящимися в долговременной памяти, и регистрируется в кратковременной (иконической) памяти, накапливающей информацию за время около 1 с или чуть дольше. Между тем опознание слова в силу самого способа его заучивания включает опосредование артикуляционной системой и, следовательно, соотнесение с артикуляционно-фонологической репрезентацией слова в лексиконе. Это сравнение придает значение написанному слову, хотя у взрослых чтецов артикуляционная и акустическая активность может приобрести чрезвычайно редуцированные формы.

Слова кодируются в кратковременной памяти посредством вербальных моторных программ. Кратковременное запоминание длится несколько секунд, но новые порции входной информации постепенно стирают его. Содержание кратковременной памяти сохраняется в долговременной памяти, если к этому времени оно еще не забыто. Значение запоминается в долговременной памяти на всех вербальных уровнях (слово, предложение, фрагмент и т. д.) и порождает ожидание контекстуально связанной информации, которое посредством звена обратной связи может влиять на движения глаз (новые фиксации) и обработку последующей информации.

Надо сказать, что модель Дж. Макворта страдает излишней обобщенностью, что не позволяет использовать ее для формулировки конкретных гипотез. Приведем пример более частной модели опознания слов, предложенной Г. Рубинштейном (Rubinstein, 1971).

Модель включает четыре процесса:

- 1 Квантование – деление стимула на сегменты и обозначение этих сегментов через буквы и фонемы.
- 2 Разметка – процесс на выходе этапа квантования, когда выделяются те слова лексикона, которые содержат обработанный квант. Например, если в слове «друг» опознаны две первые буквы «др», то размеченными окажутся такие слова как «дробь», «дружба», «дрязги» и др.
- 3 Сравнение – сравнение последующих результатов квантования с отмеченными словами. Процесс продолжается еще на один шаг с последовательным квантованием и разметкой.
- 4 Отбор – поиск прекращается, когда получаемый в результате сравнения остаток слова содержит достаточно информации для отвержения всех слов, кроме одного. Если на данном шаге опознания такой выбор невозможен, то оставшиеся слова сравниваются с результатами третьего шага квантования.

Центральным допущением этой модели является существование внутреннего лексикона, составленного из слов (или морфем), к которому можно обращаться для опознания слова. В модели учитывается частотность слова (более часто встречающиеся слова размечаются в первую очередь) и существование слов, имеющих одинаковое написание.

Другой класс моделей чтения имеет общее название «анализ через синтез». Его главные черты заимствованы из теории речевого восприятия, а затем распространены на процесс чтения. В простейшей форме, анализ через синтез состоит из выдвижения гипотезы относительно текущего сообщения или фрагмента текста, исполь-

зования соответствующих правил для определения, на что должна быть похожа поступающая на вход информация, если справедлива выдвинутая гипотеза, и фактической проверки этой гипотезы (см.: Neisser, 1967). Данная теория напоминает психолингвистическую игру-угадайки и вызывает множество принципиальных вопросов. Что является основой для прогнозов: общий контекст, значение, предшествующие грамматические структуры, слова, звуки (буквы)? Как проверяются прогнозы? На каком уровне текстовых единиц это происходит? Как читатель узнает в процессе чтения, где расположена подтверждающая гипотезу единица и как можно быстро до нее добраться? Наконец, что случается, если он обнаруживает, что выдвинутая гипотеза неверна?

На некоторые из этих вопросов пытались ответить К. Гудман (Googman, 1967) и Дж. Хохберг (Hochberg, 1970). Например, К. Гудман утверждал, что если предсказание не подтверждается последующей синтаксической и семантической информацией, то читатель перемещает свой взор влево и вверх по странице. Дж. Хохберг пытался объяснить, почему более опытные чтецы делают более длинные саккадические движения глаз и, соответственно, меньше фиксаций, по сравнению с менее опытными. Он подчеркивал, что уровень развития навыка чтения тесно связан с установкой на активное прогнозирование или догадку. Опытный читатель рассматривает каждую воспринятую графическую единицу, слово или фразу как подтверждение или неподтверждение определенных ожиданий и как стимул для генерации нового набора ожиданий. Содержание каждой фиксации формирует у опытного читателя план, куда нужно направить свой взор далее.

Вопрос о возможностях периферического зрения выбирать самые важные и информативные для читателя зоны текста является одним наиболее сложных и противоречивых. С одной стороны, данные (Rayner, 1974) свидетельствуют о невозможности оценить семантические характеристики информации, удаленной на расстояние более 6 знакомест от точки фиксации. С другой стороны, средняя длина саккад составляет 7–9 знакомест, а у опытных чтецов они имеют и большую величину. К этому вопросу мы вернемся ниже, при обсуждении детерминант функционального поля зрения при чтении.

Стратегии активного чтения

Несмотря на известную ограниченность приведенных выше моделей и невозможность генерализации их на все ситуации чтения, они выполняют свою эвристическую функцию. Не менее важно знать

и общие принципы, которым подчиняется процесс чтения на уровне сформированного навыка.

Первое, что нужно подчеркнуть, – чтение является адаптивным процессом. Его закономерности можно суммировать следующим образом (по: Gibson, Levin, 1975):

- 1 Зрелые чтецы демонстрируют гибкость стратегий внимания при чтении текстов разной информативности.
- 2 Изменение стратегий зависит от таких характеристик текста как трудность для понимания, стиль изложения или его пространственно-графическое исполнение.
- 3 Эффективность чтения, т. е. скорость извлечения из текста связанных знаний, по каналу обратной связи регулирует выбор той или иной стратегии. Чтение становится, например, более медленным при одних стратегиях и более быстрым, плавным – при других.
- 4 Стратегии могут меняться также в зависимости от новизны или, наоборот, степени знакомости информации.
- 5 Стратегии зависят от читательских интересов, вкусов и целей чтения.

Важность использования адаптивных, гибких стратегий чтения не вызывает сомнений. Закономерности их развития и методы диагностики составляют особые проблемы. Здесь нужно подчеркнуть, что активное чтение подчиняется принципу экономии.

Детализируем этот принцип.

- 1 Читатель направляет внимание на обрабатываемый текстовый материал самым экономичным способом. Можно выделить, по крайней мере, четыре таких способа.
 - а) Информация, релевантная цели чтения, приобретает высокий приоритет для внимания. Соответствующие стратегии включают перцептивные и когнитивные компоненты.
 - б) Игнорируется иррелевантная, нежелательная, бесполезная для читателя информация.
 - в) Обрабатываются наибольшие единицы текста, релевантные выполняемому заданию. Этими единицами могут быть фрагменты букв, буквы целиком, слова, фразы и даже предложения.
 - г) Обрабатывается наименьший объем информации, достаточный для удовлетворения целей выполняемого задания. При этом редуцируются избыточные операции типа вокализации при чтении про себя и подавляются ненужные ассоциации.

- 2 Адаптивное чтение характеризуется непрерывным уменьшением информации. Этот подпринцип можно раскрыть с помощью нескольких дополнительных разъяснений.
- а) Обработка уменьшается пропорционально числу альтернатив, которые возникают по мере чтения текста. Уменьшению числа альтернатив способствует антиципирующая деятельность читателя по формированию гипотез, ожиданий и т. п.
 - б) Число альтернатив уменьшается посредством применения правил и ограничений, а также избыточных структурных переменных текста. Прежде всего это связано с усвоением языковых правил, которые функционируют на многих уровнях обработки. Само по себе знание этих правил не ведет к формулировке гипотез, и лишь очень немногие из числа владеющих такими правилами осознают их в вербальной форме.
 - в) Число альтернатив уменьшается путем использования старой информации для понимания новой. Речь идет как об общих знаниях, так и о знаниях, полученных в процессе чтения данного текста. Это может быть как ближайшая информация, прочитанная в том же предложении, так и отдаленная (в другом предложении, параграфе и т. д.).

Движения глаз в процессе чтения

Среди методов изучения механизмов чтения одно из ведущих мест принадлежит измерениям параметров движений глаз. Все модели чтения в той или иной степени включают контур управления движениями глаз. И это понятно, так как вся информация в процессе чтения принимается посредством зрения в моменты времени, когда глаза находятся в относительном покое. Эти состояния, называемые фиксациями, перемежаются собственно движениями глаз, кинематические параметры которых характеризуются очень быстрым нарастанием скорости вплоть до пиковой с последующим торможением. Остановка глаз происходит без изменения знака ускорения, т. е. без переходного процесса. Такие движения глаз названы саккадами. Исходя из специфики чтения, наибольший интерес представляют следующие параметры движений глаз: длительности фиксаций и амплитуды саккад в сопоставлении с пространственным положением точки фиксации относительно текстовых единиц и направлением движения.

В моменты остановки глаз зона ясного видения шире точки фиксации, или области, сопоставимой по размеру с фовеальной зоной сетчатки (примерно 2°). Измерения показали, что она зависит

не столько от *различимости* текстовых элементов, сколько от их *читаемости*, а также от содержательных особенностей текстового материала и других факторов. Поэтому эту зону обычно обозначают как объем восприятия при чтении, или функциональное поле зрения. Соответственно и измеряется она не в угловых градусах, а знакоместах. Измерения показали, что отдельная буква стандартного для печатных текстов размера опознается в зоне радиусом примерно 10–12 знакомест. Для успешного опознания слова оно должно начинаться не далее чем за 4–6 знакомест от точки фиксации. Однако в серии экспериментов, проведенных Дж. Макконки и К. Рейнером (McConkie, Rayner, 1975), было показано, что скорость чтения продолжает увеличиваться при увеличении радиуса движущегося вместе с глазом окошка вплоть до 14 знакомест. Они также установили очень важный факт, что в процессе чтения функциональное поле зрения занимает асимметричную относительно точки фиксации позицию с очень сильным эксцентриситетом в сторону направления чтения.

Эти данные находятся в определенном противоречии с уже упоминавшейся выше средней величиной саккад при чтении (7–9 знакомест). Для его объяснения выдвинуто несколько гипотез. Наиболее правдоподобная состоит в том, что не вся доступная зрительной периферии информация обрабатывается на содержательном уровне. Наиболее удаленные слова в пределах функционального поля зрения обрабатываются только в пределах общих очертаний, неся информацию о границах и длине слов, идущих после фиксируемого.

Ясно, что параметры движений глаз могут быть использованы для подтверждения или опровержения предлагаемых теорий и механизмов чтения. Это признается всеми исследователями. Действительно, все модели чтения предусматривают контуры обратной связи от разных уровней обработки информации к движениям глаз. На протяжении почти столетней исследовательской работы накоплен значительный эмпирический материал. Приведем только самые общие и существенные из полученных закономерностей. В наиболее полной форме они суммированы в работе М. Тинкера (Tinker, 1965), а позднее – в трудах международной конференции, посвященной движениям глаз в процессе чтения (*Eye movements in reading*, 1983).

Для прочтения разнообразных текстов около 6% времени тратится на саккады и 94% – на фиксационные паузы. Некоторые авторы варьировали степень сложности предъявляемых текстов и установили, что она прямо коррелирует только с длительностью фиксаций, но не влияет на амплитуду саккад. Это ведет к предположению, что длительность фиксационной паузы определяется не только перцептивной, но и когнитивной нагрузкой.

Еще одной важной переменной глазодвигательной активности в процессе чтения является пространственная упорядоченность саккад. Наряду с доминирующим направлением саккад вдоль строки встречаются и так называемые регрессивные движения, направленные в противоположную сторону (кроме тех, которые служат перемещению глаза со строчки на строчку). Было установлено, что частота регрессий уменьшается по мере овладения навыком чтения, стабилизируясь к четвертому году обучения. Кроме того, частота регрессий отражает и трудность текста. Чтение на иностранном языке сопровождается большим числом регрессий, чем чтение на родном. Поэтому параметры движений глаз могут быть использованы для диагностики развития навыка чтения и его устойчивости в разных ситуациях (Belopolsky, 1995).

Важно также подчеркнуть, что различия в структуре движений глаз при чтении не обусловлены особенностями функционирования глазодвигательного аппарата и не переносятся на задания другого типа (поиск, слежение, рассматривание). Попытки связать возрастную задержку в развитии навыка чтения (дизлексию) с нарушениями глазодвигательных механизмов оказались безуспешными (Pavlidis, 1990).

Значительный, в том числе практический, интерес представляют работы по зависимости движений глаз от типографических особенностей текста.

Типографические параметры текста, такие как размер букв, количество букв в строке, расстояние между строками, особенности форматирования, цвет, контраст и др., создают ту перцептивную основу чтения, которая определяет «читаемость» текста. В работах, посвященных проблеме читаемости, было показано, что имеется некоторое оптимальное соотношение между размером шрифта (т. е. высотой букв) и количеством букв в строке, позволяющее читать с максимальной скоростью, выполняя при этом саккады с наибольшей амплитудой и наименьшей длительностью фиксаций. Было обнаружено также, что небольшое увеличение пробела между строками ускоряет чтение и увеличивает длину саккад по сравнению с плотно напечатанными строками. Кроме того, пробел между строками влияет на оптимальный диапазон ширины строки, что связывают с уменьшением интерферирующего влияния соседних строк и увеличением количества знаков, считываемых за одну фиксацию (Белопольский, Гусев, Курочкин, 1992).

М. Тинкер (Tinker, 1965), а также А. Гиллеланд (Gilliland, 1923) и К. Джадд (Judd, 1918) установили, что при оптимальной ширине текста и межстрочного интервала скорость чтения инвариантна

в диапазоне примерно четырехкратного изменения размера букв. Замедление скорости чтения происходит только при очень маленьких и очень больших буквах, хотя, вероятно, по разным причинам. В вышеназванных исследованиях не проводился контроль за удаленностью текста от наблюдателя. Этот пробел был восполнен в работе Р. Моррисона и К. Рейнера (Morrison, Rayner, 1981). Они меняли размер букв в масштабе 1 : 1,5 : 2 за счет соответствующего удаления текста от наблюдателя и выяснили, что длина саккад, выраженная в угловых величинах, возрастала в линейной прогрессии, но оставалась неизменной при измерении ее в буквенных позициях. Что же касается длительности фиксаций, то они не зависели от перцептивных условий чтения.

Довольно широкий диапазон инвариантности скорости чтения относительно условий восприятия доказывает, что она (как и ее производная – перцептивный объем) детерминирована главным образом скоростью семантической обработки информации. Сказанное относится, конечно, к лицам со сформированным навыком чтения. Для изучения деятельности таких читателей особый интерес представляют события, происходящие на границах диапазона инвариантности или за ее пределами, когда возникает конфликт между темпом перцептивной и семантической обработки.

Кроме перечисленных формальных характеристик текста, затруднения вызывают и «динамические микроконфликты» при чтении внутри диапазона инвариантности. Неоценимую роль для раскрытия их причин и временной динамики играет метод регистрации движений глаз.

В последние годы наиболее острые дискуссии ведутся как раз по вопросам о ведущем уровне регуляции движений глаз и об интеграции информации, получаемой в интервале между саккадами. Так, в целом ряде экспериментов проверяли гипотезы о существовании прямого лингвистического управления параметрами саккад, т. е. допущения, что их амплитуда и длительность зависят от информации, полученной в течение предыдущей фиксации. Этот класс гипотез (известны несколько их разновидностей) противопоставляется гипотезам, которые предполагают буферизацию информации и ее отсроченное влияние на движения глаз. Если менять, как это делали К. Рейнер и А. Поллатчек (Rayner, Pollatsek, 1981), после каждой саккады размер «окна» вокруг точки фиксации, в котором предъясняется текст, то длина саккад будет зависеть от условий предыдущей фиксации. Аналогичным образом и длительность фиксаций будет удлиняться, хотя и не аддитивно, вместе со случайно варьирующим удлинением задержки предъяснения текста после

окончания саккады. Кроме того, на длину саккад влияет и размер окна при предпоследней фиксации, что указывает на смешанный характер управления саккадами во время чтения, когда информация о том, когда и куда переместить глаза, зависит как от последней порции информации, так и от хранящегося в буфере мнемического контекста.

Известно, что вблизи длинных слов глаза делают более длинные саккады, чем вблизи коротких. Однако при программировании саккад учитывается не только графическая, но и лингвистическая информация, полученная на дальней периферии функционального поля зрения. Подтверждением этому служат и заимствованные из работы К. О'Ригана (O'Regan, 1979) факты удлинения при прочих равных условиях амплитуды саккад, если глаз приближается к второстепенным (артикуль) словам. Этот эффект слабее, если слова той же длины (3 буквы) являются часто употребляемыми глаголами, и усиливается для более редких словоформ. Тем самым в определенной степени подтверждается сформулированное М. Джаст и П. Карпентер (Just, Carpenter, 1980) допущение о немедленной обработке каждого фиксируемого слова на максимально необходимую для понимания глубину. Эти авторы предложили собственную теорию чтения, построенную на данных о длительности фиксации взора на разных словах текста. Они показали, что более длинные фиксации делаются в местах большей информационной нагрузки – при восприятии редких слов, при интеграции слов из разных предложений и при умозаключениях, которые делаются на конце предложения. Каждое слово фиксируется в зависимости от его функциональной значимости для понимания смысла читаемой фразы и от индивидуальных особенностей личности и деятельности читателей. Особая роль в обеспечении эффективной обработки текста отводится оперативной памяти, которая активизирует репрезентации физических признаков графических элементов текста, слов из лексикона, значений, причинных ролей, предложений, более крупных текстовых единиц и предметной области, релевантной читаемому тексту.

Функциональное поле зрения как интегральный показатель восходящего и нисходящего направлений обработки информации при чтении

Обсуждаемые выше модели процесса чтения широко различаются по выделяемым зависимым переменным, уровням репрезентации информации и интерпретации эффектов стимульной и субъектной детерминации. В том случае, когда подчеркиваются не глобальные

характеристики извлечения, синтеза и реконструкции содержания текста (как, например, в теории Д. Румелхата – Rumelhart, 1977), а процессы, разворачивающиеся в микроинтервалы реального времени, то лучшим показателем текущей эффективности чтения является объем информации, обрабатываемый за одну фиксацию. Его часто называют перцептивным объемом, или функциональным полем зрения. Измерение размера функционального поля зрения является весьма трудной задачей, хотя определенные методические подходы здесь уже наметились. Так, стало ясно, что средняя амплитуда саккад не может быть численной мерой функционального поля зрения, хотя с ней и коррелирует длина некоторых саккад. Не совсем адекватным процессу чтения является и измерение функционального поля зрения как зоны опознания отдельных букв или слов в условиях статической фиксации взора.

Наиболее продуктивным оказался разработанный в последние годы методический подход, использующий манипулирование параметрами текста, предъявленного на экране дисплея, в зависимости от местоположения глаза относительно определенных текстовых единиц. Для этого регистрируется калиброванный позиционный сигнал от глаза и в момент саккады происходит замена содержания экрана, привязанная к местоположению точки следующей фиксации. Часто эту процедуру называют методикой «движущегося окна», подчеркивая тот факт, что она ограничивает размер доступного для восприятия фрагмента текста, окружающего каждую точку фиксации. Результаты, полученные в русле данного подхода, показали зависимость размера функционального поля зрения не только от видности и читаемости графем, но и от других факторов – грамматических, лексических, синтаксических и факторов более высокого порядка, включая актуальные гипотезы, схемы и уже имеющиеся знания. Таким образом, размер функционального поля зрения детерминируется в условиях взаимодействия потоков восходящей (от данных к пониманию) и нисходящей (от внутренних представлений к данным) обработки информации.

Подтверждение этого вывода содержится и в работе Т. Марсела (Marcel, 1974), где применялся иной метод измерения функционального поля зрения. Испытуемые читали начало предложения, а затем удерживали взор в определенной позиции и пытались прочитать конец предложения, параметры предъявления которого можно было варьировать. Оказалось, что те чтецы (взрослые и дети 11 лет), которые прошли курс обучения быстрому чтению, лучше используют контекстуальную информацию и воспринимают больше периферической информации, чем те, которые читали относительно

медленно. Предполагается, что увеличение функционального поля зрения идет в двух направлениях – понижается порог восприятия слов и облегчается интеграция информации в процессе понимания.

Экспериментальная проверка моделей сформированного навыка чтения

Проведенный выше анализ позволяет сделать вывод, что в процессе чтения осуществляется сложное и гибкое взаимодействие глазодвигательных, перцептивных, мнемических и мыслительных процессов. Влияние перцептивных условий на эффективность чтения широко изучалось на материале плоскопечатных текстов, когда варьировали такие параметры как размер букв и шрифты, расстояние между строками и словами, контраст и освещенность текстовых элементов, удаленность текста относительно чтеца и т. д. Развитие новых технических средств предъявления буквенно-цифровой информации: дисплеев, служащих для общения человека и ЭВМ, телеприемников, жидко-кристаллических и растровых информационных табло и др. – выдвинуло и особые требования к пользователям этих средств. Главная особенность дисплейной техники состоит в том, что текстовая информация может предъявляться в непривычном формате и принудительном временном режиме. Значительное распространение получили различные динамические режимы предъявления текстовой информации, в частности, режим «бегущая строка», позволяющий экспонировать неограниченно большой массив информации на относительно небольшой зоне пространства.

Кроме экономии числа знакомест информационного табло, еще одним преимуществом этого режима предъявления текста является возможность значительно увеличить размер отдельных знаков, что существенно для чтения на большом расстоянии или для слабовидящих. Ясно, однако, что чтение движущегося текста не идентично чтению неподвижного текста. Во-первых, должен измениться паттерн глазодвигательной активности, так как движущийся текст является мощным оптокинетическим стимулом. Во-вторых, длительность экспозиции графических и содержательных единиц текста ограничивается скоростью их движения и размером информационного дисплея. В-третьих, возможность регрессий, т. е. возврата к предыдущему участку текста, также ограничена размером дисплея.

Кроме практической значимости, изучение ситуации чтения движущегося текста представляет интерес и для проверки ряда теоретических положений, относящихся к структуре навыка чтения. Главное из них – существует ли диапазон инвариантности для скорости эффективного чтения при изменении динамичес-

ких условий предъявления текста? Если да, то как меняется этот диапазон в зависимости от уровня развития навыка чтения? Существуют и другие вопросы, которые могут получить здесь определенное решение: чем определяются временные и амплитудные параметры движений глаз? каков оптимальный размер функционального поля зрения? как интегрируется перцептивная информация по ходу чтения, считывается ли она дискретными порциями или непрерывно?

Методика

Научно-популярные тексты средней степени сложности и длиной от 400 до 880 знаков, предъявляли с помощью электромеханической лентопротяжной установки с электронной системой стабилизации скорости движения ленты. Скорость протяжки ленты можно было плавно регулировать в диапазоне 1 : 5 при девиации не более 2%. Ступенчатая регулировка (редуктором) обеспечивала предварительную настройку границ тестируемого скоростного диапазона. Лента – полупрозрачная лавсановая калька длиной 91,4 см и шириной 11,0 см – была свернута в кольцо. Тексты были нанесены графопостроителем на ленте в одну или несколько (максимум – 5) строк в зависимости от размера букв, начертание которых оставалось неизменным. Подвижные шторы на передней части лентопротяжного механизма позволяли менять размер видимого фрагмента текста. Максимальный размер такого «окна» составлял 40 см. По нижнему краю ленты была нанесена перфорация, сквозь которую пучок света от расположенного на том же уровне микроизлучателя попадал на светоприемник (солнечная батарея), генерировавший электрические импульсы. Регистрация этих импульсов позволяла высчитать актуальную скорость движения ленты. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

Независимыми переменными были: размер букв – от $0,1^\circ$ до $4,0^\circ$ и размер «окна», варьируемый от 1 до 80 знаков. Зависимыми переменными являлись: угловая скорость движения текста и соответствующая ей скорость чтения, а также параметры движений глаз, которые регистрировали посредством взаимоиндуктивной методики (Крицюнас, Лаурутис, 1977).

В эксперименте принимали участие 5 испытуемых с высшим образованием в возрасте от 19 до 24 лет. Скорость их чтения (для неподвижных текстов) составляла от 168 до 296 слов/мин (примерно от 30 до 50 знаков/с). Перед испытуемым ставилась задача – управляя регулятором скорости читать текст максимально быстро и с пониманием, чтобы после прочтения они могли коротко пересказать его

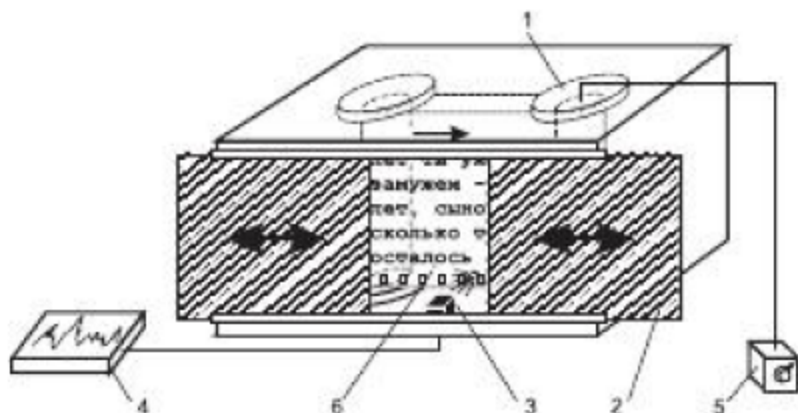


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

1 – лентопротяжный механизм с двумя катушками; 2 – сдвижные шторки; 3 – источник света и светоприемный датчик, используемые для регистрации скорости движения ленты с текстом; 4 – самописец; 5 – регулятор скорости движения ленты; 6 – закольцованная лента с текстом (пояснения в тексте)

содержание. Расстояние от глаз испытуемого до текста оставалось постоянным – 38 см.

Результаты и обсуждение

Типичной для испытуемых была стратегия регулировки скорости чтения, состоявшая из двух этапов: этапа вчитывания, когда скорость движения текста постепенно нарастала, и этапа стабилизации, когда частота и диапазон регулировочных воздействий были весьма незначительными. За величину скорости чтения было принято среднее количество знаков, пересекающих границу окна за 1 секунду на этапе устойчивого чтения. Для большинства тестируемых условий предъявления зарегистрированная скорость чтения была не ниже той, которая была получена при чтении сравнимых по сложности неподвижных текстов. Отмечено некоторое снижение (~ на 20%) количества правильных ответов на вопросы, заданные по содержанию прочитанного текста по сравнению с чтением обычного печатного текста. Далее будут рассмотрены количественные зависимости скорости текста от варьируемых параметров.

Не установлено какой-либо систематической зависимости между скоростью чтения и угловой скоростью движения текста (см. рисунок 2). Хотя диапазон установленных испытуемыми значений угловых скоростей движения текста лежал в диапазоне от 5°/с до 35°/с,

около 80% всех данных попадали в интервал 10–25°/с. Внутри всего этого диапазона зарегистрирован примерно четырехкратной перепад скоростей чтения для каждого из испытуемых. Хотя известно, что увеличение скорости движения текста должно привести к уменьшению его различимости, этот параметр не являлся критическим для скорости чтения.

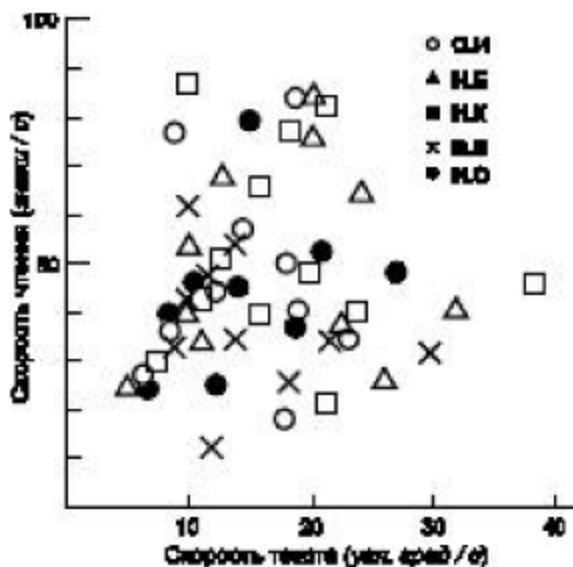


Рис. 2. Диаграмма разброса данных в координатах скорости чтения и угловой скорости движения текста. Представлены суммарные результаты 5 испытуемых, полученные при чтении каждым из них текстов с разным размером букв, которые были предъявлены в «окнах» разной ширины

Графики на рисунке 3 показывают монотонное, близкое к линейному увеличение скорости чтения в зависимости от ширины окна, т. е. числа видимых знакомест текста, в интервале от 1 до 10 знаков. Последующее увеличение ширины окна до 20 знаков у 3 из 5 испытуемых вело к дальнейшему нарастанию скорости чтения. В окошке шириной от 20 до 80 знаков скорость чтения уже не увеличивалась. Сходные данные были получены и в эксперименте Дж. Легга с соавт. (Legge et al., 1985), где использовали видеопредъявление движущегося текста. Интересно, что те двое испытуемых, которые читали на пределе своих возможностей уже при ширине окна 10 знаков, обладали и более высокой исходной скоростью чтения. Эти данные могут быть использованы для определения оптимального размера функционального поля зрения при чтении движущегося текста.

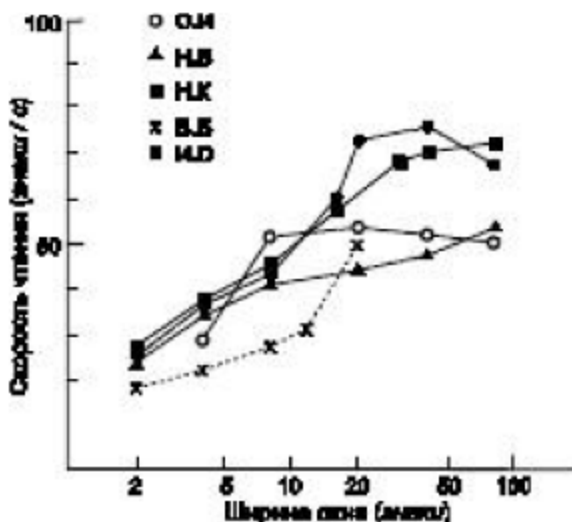


Рис. 3. Графики зависимости скорости чтения от ширины текстового «окна» для каждого из 5 испытуемых

Нужно отметить, что чтение возможно даже при размере окна, в котором видна лишь 1 буква. Скорость чтения в этих условиях может достигать 10–12 знаков/с. Если сравнить ее с литературными данными о считывании и поиске информации, предъявляемой на 1 знакоместо в дискретном режиме, то можно убедиться, что эффективность деятельности в 1-м случае выше, чем во 2-м (Juola et al., 1982). Видимо, пространственно-временная связность предъявляемой информации способствует расширению перцептивных возможностей человека.

При константной ширине окна, равной 10 знакам, скорость чтения зависела от углового размера букв следующим образом (рисунок 4). Она оставалась на постоянном уровне при размере букв в интервале от $0,25^\circ$ до $1,0^\circ$ и падала при дальнейшем уменьшении или увеличении размера букв. Ясно, что в диапазоне инвариантности пропорционально размеру букв возрастала и угловая скорость движения текста.

Обратимся теперь к зафиксированным в эксперименте параметрам движений глаз. Процесс чтения идет слева направо, тогда как предъявляемый текст движется справа налево. Другими словами, они направлены во взаимно противоположные стороны. Это определяет характер глазодвигательной активности, имеющей форму нистагма, плавная компонента которого совпадает с направлением движения текста (рисунок 5). Цикл нистагма длился

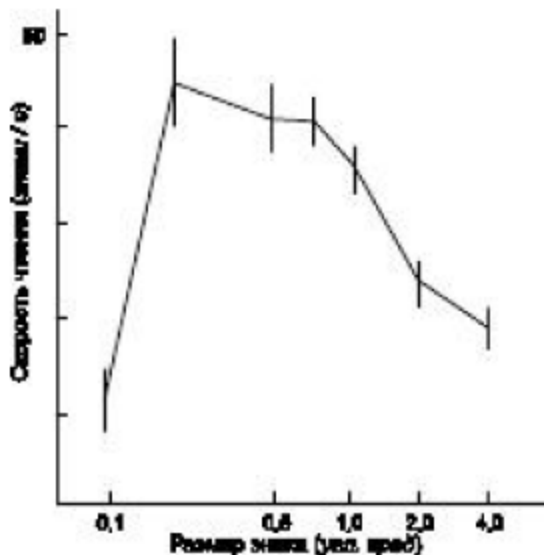


Рис. 4. График зависимости скорости чтения от размера букв текста. Суммировано для 5 испытуемых. Здесь и на следующих рисунках: вертикальные линии – стандартное отклонение

в среднем 274 ± 36 мс, что совпадает с данными по межсаккадическим паузам («фиксациям») при чтении неподвижного текста. Тот факт, что частота нистагма не зависела от угловой скорости движения текста, доказывает (см.: Ter Braak, 1962; Ter Braak, Buis, 1971), что зарегистрированный режим работы глазодвигательной системы не тождественен простому оптокинетическому нистагму, а связан с семантической обработкой текста.

Этот вывод подтверждают и следующие факты. Длительность медленной фазы нистагма снижалась при увеличении ширины «окна» от 1 до 20 знакомест, а затем стабилизировалась при дальнейшем увеличении видимого фрагмента текста (рисунок 6). Это совпадает с динамикой скорости чтения в данных условиях. Далее, мы измеряли коэффициент усиления скорости медленной фазы нистагма как отношение средней скорости медленной фазы нистагма за цикл к скорости движения текста. Оказалось, что этот коэффициент уменьшается с 0,8 до 0,55 при увеличении окна с 1 до 10 знакомест и стабилизируется на этой величине (рисунок 7). Как можно проинтерпретировать этот факт? Одно из возможных объяснений состоит во влиянии размера поля оптокинетической стимуляции на коэффициент усиления плавной компоненты нистагма. Однако контрольные эксперименты с фиксацией сплошного ряда

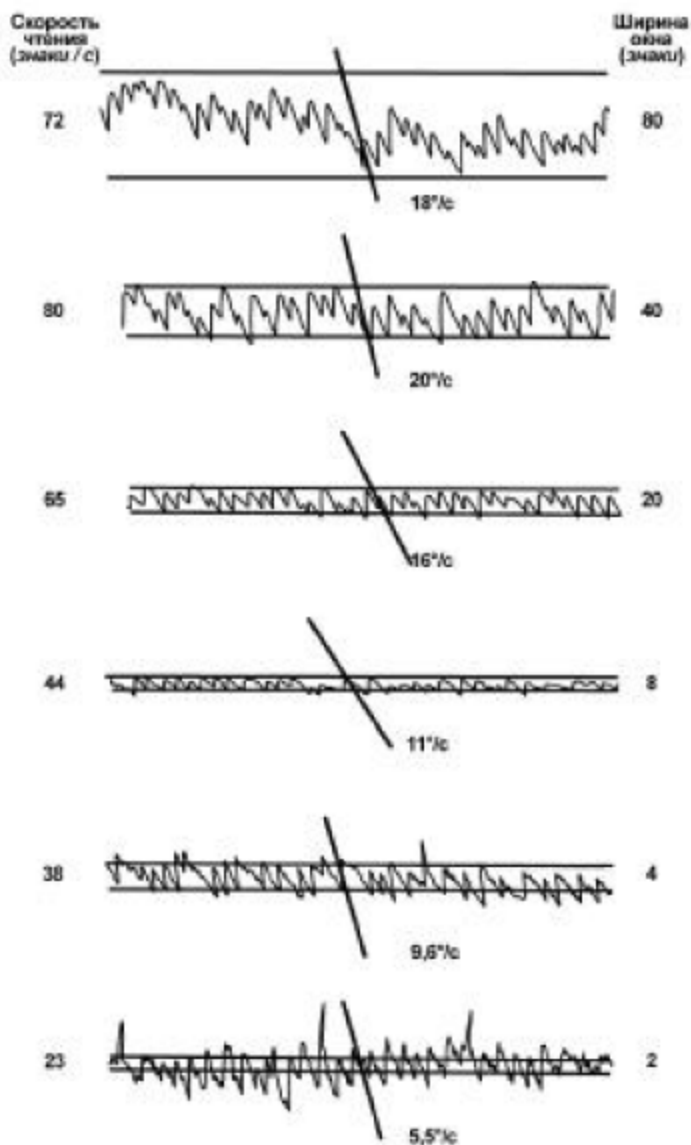


Рис. 5. Примеры записей движений глаз испытуемого И. О. в процессе чтения движущегося текста. Цифры справа показывают скорость чтения, слева – ширину текстового «окна». Размер букв оставался постоянным – 0,25 угл. град. Две горизонтальные линии на графиках показывают границы «окна», наклон косой линии – угловую скорость движущегося текста

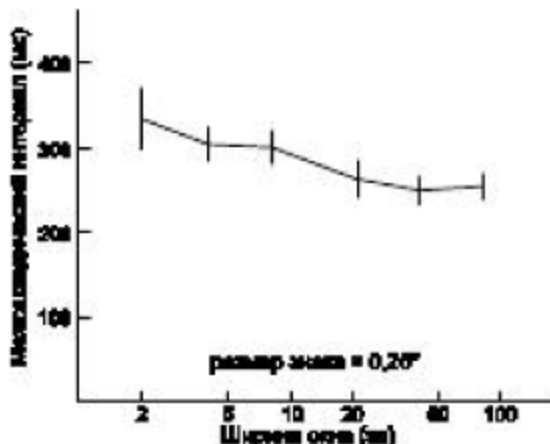


Рис. 6. График зависимости длительности межсаккадического интервала от ширины текстового «окна». Суммировано для 5 испытуемых

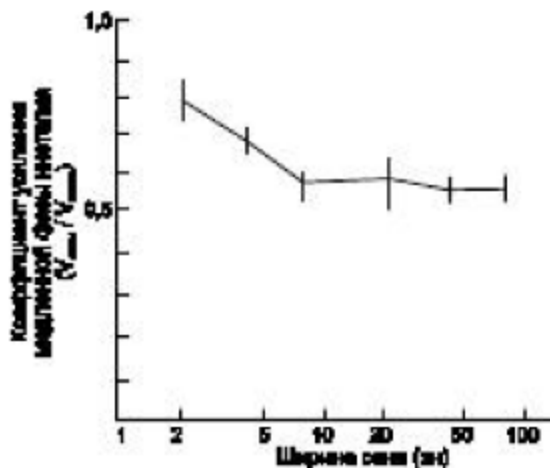


Рис. 7. График зависимости коэффициента усиления медленной фазы нистагма от ширины текстового «окна». Суммировано для 5 испытуемых

движущихся цифр показали, что, хотя эти влияния на самом деле существуют, они не могут объяснить весь диапазон изменений. Более того, тщательный анализ позволил установить тонкую зависимость динамики коэффициента усиления движений глаз от лексических и грамматических особенностей читаемого текста. В целом коэффициент усиления был тем ниже, чем легче для понимания был данный фрагмент текста. Следует учесть, что данные вариации коэффициента усиления были зафиксированы при размере окна >20 знакомест и при скоростях текста <20 %/с, когда, по литератур-

ным данным, коэффициент усиления оптокинетического нистагма должен был быть близок единице. У нас же получилось наоборот: коэффициент усиления плавной фазы нистагма возрастал при скоростях чтения $>20^\circ/\text{с}$. Наше объяснение состоит в том, что для задачи чтения медленную фазу нистагма следует рассматривать не просто как динамическую фиксацию глаза на одном и том же месте движущегося текста, а как этап активного перемещения взора по тексту, отражаемый в торможении скорости медленной фазы нистагма. Отсюда можно сформулировать гипотезу о временной динамике считывания информации в процессе фиксации. Суть ее состоит в признании принципиальной возможности расширения функционального поля зрения за счет осуществления нескольких циклов считывания информации на протяжении межсаккадической паузы.

Заключение

- 1 Подтверждены и расширены данные о существовании диапазона инвариантности скорости чтения относительно перцептивных условий предъявления текста. Скорость чтения движущегося текста почти не менялась при увеличении размеров букв от $0,25^\circ$ до $1,0^\circ$, при увеличении числа одновременно экспонируемых букв, начиная с 10–20 знакомест, и при увеличении угловой скорости текста в диапазоне до $30^\circ/\text{с}$.
- 2 Получены данные о параметрах движений глаз при чтении движущегося текста. Они свидетельствуют о: а) возможности эффективного чтения в условиях нистагма, когда отсутствуют остановки глаз, типичные для считывания неподвижного текста; б) подчиненности этих параметров не только перцептивным условиям, но и возможностям смысловой обработки текста.
- 3 Установлен факт уменьшения коэффициента усиления медленной фазы нистагма при чтении движущегося текста в диапазоне инвариантности. Этот показатель может быть предложен как диагностический для оценки эффективности навыка чтения в данных конкретных условиях. Высказана гипотеза о механизме этого эффекта.
- 4 При чтении движущегося текста создаются условия, способствующие (из-за отсутствия регрессий и принудительного темпа) некоторому снижению глубины обработки и/или ограничению объема информации, содержащейся в мнемическом буфере. Как следствие, уровень понимания имел тенденцию к уменьшению, особенно на начальных этапах вработывания в данный режим чтения. Это выдвигает задачу специального формирования навыка чтения для таких условий с учетом его особенностей.

ЛИТЕРАТУРА

- Белопольский В. И., Гусев В. В., Курочкин А. Л. Взаимосвязь между читаемостью текста и уровнем развития навыка чтения // Психологический журнал. 1992. Т. 13. № 5. С. 48–56.
- Белопольский В. И., Каптелинин В. Н. Зрительное опознание слов: Роль частотности и грамматической преднастройки // Психологический журнал. 1988. Т. 9. № 5. С. 35–44.
- Крицюнас К. С., Лаурутис В. П. Взаимоиндуктивный измеритель микро- и макродвижений глаз // Вестник Московского ун-та. Серия Психология. 1977. № 4. 82–86.
- Лезер Ф. Рациональное чтение. М.: Педагогика, 1980.
- Belopolsky V. I. Eye movement parameters during reading of moving text // Perception (Gr. Brit.). 1989. V. 18. N 4. A42.
- Belopolsky V. I. Spatial reading strategies, used by average and fast readers // J. Russian and East Europ. Psychol. (USA). 1995. P. 21–51.
- Gibson E. J., Levin H. The Psychology of Reading. MIT Press, 1975.
- Goodman K. S. Reading: A psycholinguistic guessing game // Elementary English. 1967. V. 42. P. 639–643.
- Gilliland A. R. The effect on reading of changes in the size type // Elementary School Journal. 1923. V. 24. P. 138–146.
- Hochberg J. Components of literacy: Speculations and exploratory research // H. Levin and J. P. Williams (Eds.). Basic studies on reading. New York: Basic Books, 1970. P. 74–89.
- Judd C. H. Reading: Its nature and developments // Supplementary Educational Monographs. 1918. 10.
- Juola J. F., Ward N. J., McNamara T. Visual search and reading of rapid serial presentation of letter strings, words and text // Journal of Experimental Psychology: General, 1982. V. 111. P. 208–277.
- Just M. A., Carpenter P. A. A theory of reading: from eye fixations to comprehension // Psychological Review. 1980. V. 87. P. 329–354.
- Legge G. E., Pelli D. G., Rubin G. S., Schleske M. M. Psychophysics of reading. – I. Normal vision // Vision Res. 1985. V. 25. P. 239–252.
- Mackworth J. F. Some models of the reading process: learners and skilled readers // Reading Research Quarterly. 1968. V. 3. P. 149–177.
- McConkie G. W., Rayner K. The span of the effective stimulus during a fixation in reading // Perception and Psychophysics. 1975. V. 7. P. 578–576.
- Morrison R. E. Retinal image size and the perceptual span in reading // K. Rayner (Ed.) Eye Movements and Reading. Academic Press, 1983.
- Morrison R. E., Rayner K. Saccadic size in reading depends upon character spaces and not visual angle // Perception and Psychophysics. 1981. V. 30. P. 395–396.
- Marcel T. The effective visual field and the use of context in fast and slow readers of two ages // British Journal of Psychology. 1974. V. 65. P. 479–492.

- Neisser U.* Cognitive psychology. New York: Appleton-Century-Crofts, 1967.
- O'Regan K.* Saccade size control in reading: Evidence for the linguistic control hypothesis // *Perception and Psychophysics*. 1979. V. 25. P. 501-509.
- Rumelhart D. E.* Toward an interactive model of reading // S. Dornic (Ed.). *Attention and Performance VI*, Erlbaum, 1977.
- Rayner K.* Parafoveal identification during a fixation in reading // *Acta Psychologica*. 1975. V. 39. P. 271-282.
- Rayner K., Pollatsek A.* Eye movement control during reading: evident for direct control // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1981. V. 33A. P. 351-373.
- Rayner K., Well A. D., Pollatsek A.* Asymmetry of the effective visual field in reading // *Perception and Psychophysics*. 1980. V. 27. P. 537-544.
- Rayner K.* (Ed.) *Eye Movements in Reading: Perceptual and Language Processes*. Academic Press, 1983.
- Rubinstein H.* An overview of psycholinguistics // *Current trends in linguistics*. The Hague: Mouton, 1971. V. 12.
- Rubinstein H., Garfield L., Millikan J. A.* Homographic entries in the internal lexicon // *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 1970. V. 9. P. 487-494.
- Tinker M. A.* *Bases for effective Reading*. University of Minnesota Press, 1965.

ГЛАВА 10

РОЛЬ СЕМАНТИКИ В ВОСПРИЯТИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ СИГНАЛОВ

Время является одним из самых важных условий жизни и деятельности человека. В психофизических исследованиях восприятие времени традиционно изучается на материале интервалов определенной длительности, задаваемых простыми физическими сигналами: свечением световой точки или пятна, простыми тональными звуками и т. д. Испытуемым предъявляются либо незаполненные интервалы времени, в которых отмечаются начало и конец, либо заполненные интервалы световых или звуковых сигналов (Фресс, Пиаже, 1978).

В повседневной жизни человек имеет дело как с искусственными сигналами определенной длительности, так и с реальными процессами, длительность которых ему требуется адекватно воспринимать. Перенесение закономерностей, установленных на искусственных, лабораторных сигналах, на жизненные реалии не всегда валидно.

Исследования восприятия времени естественных процессов представлены в основном в прикладных работах с использованием несложных методик диагностического характера: изучение временных параметров локомоций, речи, восприятия мелодий, взаимодействия пользователя с компьютером (Bella et al., 2003; Fortin & Breton, 1995; Schaefer, 1990; Tresilian, 1995).

В данной работе основное внимание уделяется предметному, семантическому содержанию воспринимаемой человеком сенсорно-перцептивной информации и ее влиянию на восприятие временного интервала. Восприятие времени в задачах, приближенных к реальным, рассматривается как целостный феномен, и оценка длительности звукового процесса не раскладывается на последовательность дискретных событий (Sadov, 1993).

В нашей работе экспериментальной проверке подвергалась гипотеза о связи качественного содержания звуковых сигналов и восприятия их длительности.

В соответствии с этим были поставлены следующие задачи:

- 1 Сконструировать метод для определения латентных переменных, детерминирующих описание естественных, реверсивных и простых психофизических (тональных) звуковых фрагментов.
- 2 Выявить связь семантического описания естественных и искусственно созданных звуковых фрагментов с показателями эффективности воспроизведения длительностей.
- 3 Исследовать особенности воспроизведения длительностей естественных, реверсивных и простых психофизических звуковых фрагментов.

Методика

Для реализации данного исследования был создан экспериментально-аппаратурный комплекс зрительного и слухового восприятия человека, сконструированы методические, аппаратурные и программные средства. Особенностью данного комплекса является то, что он позволяет реализовывать воспроизведение естественных и искусственных звуков по заданной экспериментатором схеме. Был создан программный продукт для предъявления звуков с заданными параметрами длительности. В качестве исходного материала для этой программы выступали мультимедийные файлы форматов: WAV, MIDI, AVI, создание, подбор и обработка которых, предварительно осуществлялась звуковыми редакторами. В результате анализа литературных данных был выбран наиболее точный метод воспроизведения по сравнению с методом оценки и отмеривания (Фресс, Пиаже, 1978; Лисенкова, Шпагонова, 2006). Разработана процедура проведения эксперимента по изучению воспроизведения длительностей естественных и искусственных звуков. Программа составлена с учетом специфики такого воспроизведения. Сценарий проведения исследования разработан для применения метода постоянных раздражителей в части, касающейся предъявления стимуляции и метода воспроизведения для регистрации длительностей. Создана электронная система, выбраны технические средства для предъявления экспериментатором и воспроизведения испытуемым звуков в свободном акустическом поле. Определены компьютерные способы трансформации файлов, позволяющие изменять признак естественности звуков. Проведена трансформация звуков, изменяющая их естественность и реализованная путем транспо-

нирования и реверсирования отобранных сигналов. На основе анализа и сравнения возможностей существующих компьютерных редакторов (Cakewall Pro Audio 9 Fixed, Cool Edit Pro 1.20, Sound Forge 4.5c 295, BMP DJ Studio 1.5.0.260 и др.) определен редактор (Cool Edit Pro 1.20), позволяющий осуществлять требуемые изменения звуков. Транспонирование состоит в дискретном изменении спектрального состава сигнала, в результате которого изменяется естественность звука. Возможная дискретность транспонирования составляет одну двенадцатую часть октавы. Для каждого транспонируемого и исходного сигналов осуществляется анализ их физических параметров (спектральный состав, частота основного тона и амплитудные характеристики). Реверсирование (проигрывание звука в обратном направлении) позволяет при неизменных спектральных и временных характеристиках звуков изменять степень естественности сигнала.

Комплекс состоит из двух блоков. Первый блок включает акустическое оборудование и компьютерный комплекс со специальным программным обеспечением, разработанный доцентом ГУГН В. А. Садовым. Второй блок представляет собой специально оборудованную, звукоизолированную, затемненную камеру для испытуемых. Звуки предъявлялись стереофонически в свободном акустическом поле. Громкость звучаний на уровне слушателя – около 60 дБ. Аппаратура обеспечивала отношение «сигнал-шум» – 70 дБ (рисунок 1).

Для решения поставленных задач была сконструирована методика выявления семантики описания естественных, реверсивных и простых психофизических (тональных) звуковых фрагментов по типу семантического дифференциала (СД). Процесс создания методики СД состоял из нескольких этапов. На первом этапе были выявлены 300 признаков описания звуков (Носуленко, 1988; Епифанов, 1991). Выбирались такие признаки звуков, которые использовались испытуемыми в свободном описании и направленном интервью. Направленное интервью включало следующие вопросы: 1. Что это за звук? 2. На что похож данный звук? 3. Как вы думаете, что является источником данного звука? 4. Где можно услышать этот звук? 5. С какими событиями он связан? 6. Какие ассоциации вызывает? 7. Знаком ли вам этот звук? 8. Нравится ли вам данный звук? Почему? 9. Какие эмоции вызывает у вас этот звук? Далее методом частотного анализа были отобраны 166 признаков, из которых организованы 83 оппозиции прилагательных СД. В список включались повторения, а также изменялись полюса прилагательных. Это было сделано для контроля. Предлагалось 7 градаций от -3 до +3, с 0 по середине. (Садов, Шпагонова, 2003).

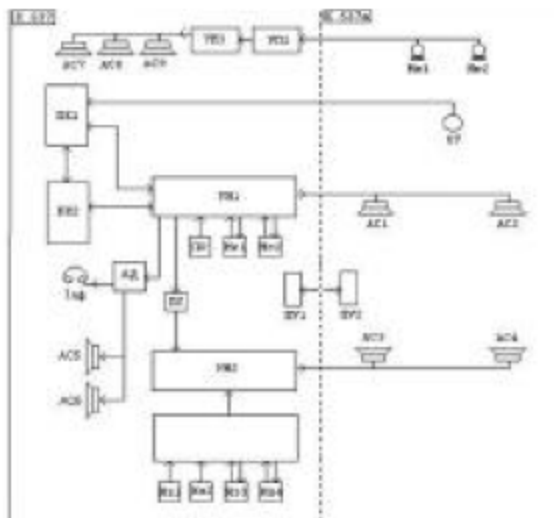


Рис. 1.

Мк1, Мк2

АС, АС2

АС3, АС4

ПУ1, ПУ2

УМ1

УМ2

УП2

ПС

УП1

УМ3, АС7-9

ПК1

ПК2

ОУ

АД

Тлф

АС5, АС6

Из1, Из2, Из3, Из4

Микрофоны Sony F-V220

Акустические системы UB1 Model 4345

Акустические системы 50 АС-061М

Переговорное устройство CommaxPSS-4

Полный усилитель DENON PMA-655R

Усилитель мощности ESTONIA УМ-010

Усилитель ESTONIA УП-010

Смеситель-преобразователь стереоканалов

Усилитель DENON PRA-2000Z

Акустическая система Mikrolab M-620

Персональный компьютер 1

Персональный компьютер 2

Орган управления (герконовая кнопка)

Адаптер STAX

Наушники STAX SR-80

Акустическая система S-30

Дополнительные источники звука

Стимульный материал

Звуки отбирались из аудиотеки Тьерри Морати «Эволюционные релаксации», DIEM, Франция, предоставленной Е. Г. Епифановым. Предложены следующие звуковые фрагменты: мяуканье кошки – 995 мс, цокот копыт лошади – 1010 мс, лай собаки – 555 мс, крик кукушки – 612 мс, звук падающей капли – 203 мс, пение птиц в лесу – 2449 мс, удар топора по дереву – 505 мс, крик моржа – 3039 мс,

бой часов – 1082 мс, их реверсивные звучания (реверсирование – проигрывание звукового фрагмента в обратном направлении) и тональные сигналы с частотой основного тона. Естественные звуки выбирались по следующим основаниям. 1) Знакомые, встречаемые в жизни испытуемых, например, пение птиц в лесу; с разной степенью встречаемости и узнаваемости. Некоторые естественные звуковые фрагменты легко узнавались испытуемыми (звук падающей капли, мяуканье кошки, лай собаки, пение птиц в лесу), определение других звуков вызывало затруднение (удар топора по дереву, бой часов, крик моржа). 2) Естественные звуки представляли собой законченный звуковой фрагмент. 3) Длительности исследуемых звуковых фрагментов находились в диапазоне от 203 мс до 3039 мс, который включает три диапазона временной суммации: полной, частичной и диапазона, где ее не существует. В психофизике традиционно изучают эти диапазоны длительностей.

У неестественных (реверсивных и тональных звуков) физическое описание было аналогично описанию естественных звуков, сохранен тот же интегральный спектральный состав. Начало и окончание тонального сигнала соответствовало нулевой фазе, чтобы исключить звук щелчка.

Процедура исследования

Исследование проводилось индивидуально и состояло из двух серий. В первой серии испытуемому предъявлялся один из вышеперечисленных звуков, который он мог прослушивать несколько раз, нажимая на кнопку воспроизведения звука. После прослушивания звука испытуемому через переговорное устройство экспериментатор задавал вопросы «Направленного интервью». Ответы испытуемого фиксировались в журнале. Далее ему предъявлялись звуковые фрагменты. Испытуемый должен был внимательно прослушать каждый звук и оценить его с помощью пар прилагательных, заполняя бланк СД. Каждая пара прилагательных описывает признак, выраженность которого определяется по 7-балльной шкале (–3 –2 –1 0 1 2 3). Испытуемый должен был обвести то число, которое, по его мнению, наиболее точно характеризует выраженность предлагаемого признака. Цифра «0» означает отсутствие признака, цифры «–3» и «3» – минимальное и максимальное его значения соответственно, остальные цифры отражают промежуточные значения признака. Всего испытуемый прослушивал 18 звуковых фрагментов (9 естественных, 9 реверсивных). В исследовании приняли участие 16 человек.

В следующей серии, состоящей из двух экспериментов, испытуемому предъявлялись эти же звуковые фрагменты в случайном

порядке (позиционное уравнивание). Каждый звуковой фрагмент предъявлялся по 20 раз. Общее количество проб в отдельном эксперименте – 180. Отдельная проба состояла из предъявления звукового сигнала и реакции испытуемого. Он должен был прослушать звук и воспроизвести его длительность нажатием на кнопку. Следующий сигнал предъявлялся через интервал от 1 до 2 секунд случайным образом, чтобы исключить эффект ритмичности. Эмпирически было показано, что данный временной интервал является оптимальным для подготовки к восприятию следующего сигнала (увеличение интервала между пробами увеличивает время проведения самого эксперимента и вызывает раздражение со стороны испытуемых). Длительность воспроизведения предъявленного звука автоматически фиксировалась, запоминалась и классифицировалась. Реакции предвосхищения испытуемых исключались при обработке данных специальным программным способом. Если воспроизведение длительности осуществлялось раньше окончания звукового сигнала, то длительность нажатия не подвергалась регистрации, а звуковой сигнал предъявлялся вторично. Проведение отдельного эксперимента по воспроизведению длительности занимало около 20 минут. Перед проведением основного эксперимента каждый испытуемый проходил тренировку для понимания инструкции и выполнения задания. Все исследование с одним испытуемым длилось около семи часов.

Обработка эмпирических и экспериментальных данных

Статистическая обработка данных включала: 1) сбор исходных файлов и перенос в базу данных Statistica 6; 2) предварительный просмотр и отсев явных ошибок с помощью карт качества (правило 3 σ); 3) формирование файлов данных в соответствии с проверяемой гипотезой; 4) подбор адекватных статистических методов в соответствии с особенностями изучаемых переменных; 5) расчет показателей эффективности воспроизведения длительностей звуковых фрагментов (естественных, реверсивных и тональных); 6) создание измерительных шкал; в соответствии с тем, что исследуемая переменная – длительность нажатия на кнопку – измеряется в шкале порядка, для анализа были использованы непараметрические методы (ранговая статистика); анализ поведения данной переменной показал, что ее распределение близко к распределению Пуассона и мало отличается от нормального при больших количествах замеров ($n > 100$). Исследование поведения шкальных переменных показало, что их распределение имеет вид, близкий к усеченному нормальному распределению и использование факторного анализа

обосновано (Гусев, Михалевская, Измайлов, 2005); 7) проверка предложенных шкал по классическим показателям надежности; 8) по нормированным шкалам проведено описание в эксперименте звуков; 9) выявление связи между семантическим описанием звуков и показателями эффективности воспроизведения длительностей (корреляционный анализ).

Результаты и их обсуждение

При создании семантического описания звуковых фрагментов мы опирались на результаты факторного анализа бланков СД (метод принципиальных компонент, вращение Varimax, 60–70% дисперсии), который показал, что выделены 6 факторов, идентичных для описания как естественных, так и реверсивных звуков. На основании полученных результатов были созданы 6 шкал, проведена их психометрическая проверка. Каждый фактор рассматривался нами как реальная латентная переменная, и для ее измерения конструировалась шкала. Были получены следующие шкалы: 1) Недифференцированная эмоциональная оценка звука (α Кронбаха = 0,94): приятный–неприятный, расслабляющий–пугающий, комфортный–некомфортный, привлекающий–непривлекающий, неустоимительный–устоимительный, нераздражающий–раздражающий, желаемый–нежелаемый, благоприятный–неблагоприятный; 2) Естественность звука (α Кронбаха = 0,92): естественный–искусственный, природный–механический, одушевленный–неодушевленный, живой–неживой, живой–синтетический; 3) Известность звука (α Кронбаха = 0,92): знакомый–незнакомый, встречаемый–невстречаемый, известный–неизвестный, обычный–необычный, стандартный–нестандартный; 4) Высота звука (α Кронбаха = 0,78): высокий–тонкий, тонкий–толстый, легкий–тяжелый, острый–тупой; 5) Резкость звука (α Кронбаха = 0,85): ритмичный–мелодичный, резкий–плавный, обрывистый–плавный, жесткий–мягкий; 6) Сила звука (α Кронбаха = 0,76): громкий–тихий, сильный–слабый, звонкий–глухой, четкий–размытый, яркий–тусклый.

Корреляционный анализ показал, что описания звуков по полученным шкалам связаны с воспроизведением длительности этих звуков:

- 1 Звуки, имеющие положительную эмоциональную оценку, воспроизводились с меньшей временной ошибкой, чем звуки, отрицательно окрашенные.
- 2 Отнесенность звуков к естественным приводила к уменьшению временной ошибки.

- 3 Оценка силы (громкости) звука отрицательно коррелировала с величиной временной ошибки.
- 4 Звуки, оцениваемые как резкие, воспроизводились с большей временной ошибкой.

Таким образом, с наименьшей ошибкой воспроизводились звуки, воспринимаемые как естественные, сильные, плавные и эмоционально положительно оцениваемые (Садов, Шпагонова, 2006).

Анализ оценок профилей предъявляемых звуков (естественных и реверсивных) по нормированным шкалам показал, что наиболее положительная эмоциональная оценка, естественность и высота выявлена у звукового фрагмента – пение птиц в лесу, наименее положительная, неестественная и низкая – у боя часов; наиболее высокая оценка известности – у звука падающей капли, наиболее низкая – у реверсивного звука удар топора по дереву; самая высокая оценка резкости у звука – цокот копыт лошади, а низкая у звука – мяуканья кошки (Анастаси, 1982).

Следующая задача нашего исследования состояла в сопоставлении описания естественных и реверсивных звуков с описанием тональных сигналов, которые традиционно используются в психофизике. На этом этапе СД был модифицирован: сокращено число признаков, убраны повторные пункты и пункты с минимальной дифференцирующей способностью. Были добавлены признаки положительных эмоций, длительности и объемности. В результате получился СД, состоящий из 49 признаков (см. бланк). Сокращение пунктов СД было проведено для сокращения времени эксперимента и устранения утомления.

Для верификации полученной методики была проведена двойная кросс-валидизация с использованием тональных сигналов и другой выборки испытуемых. В эксперименте приняли участие 16 испытуемых. Процедура и обработка этого исследования аналогичны предыдущим. Предъявлялись 9 звуков: помимо трех естественных (мяуканье кошки – 995 мс, удар топора по дереву – 505 мс, звук падающей капли – 203 мс) и трех реверсивных, предъявлялись три тональных звука с частотой основного тона естественных сигналов. Длительности реверсивных и тональных сигналов равнялись также 995 мс, 505 мс, 203 мс.

Факторный анализ СД описания естественных, реверсивных и тональных звуков позволил выделить те же самые 6 факторов и создать 6 шкал, что и в предыдущем исследовании: недифференцированная эмоциональная оценка звука (α Кронбаха = 0,94), его естественность (α Кронбаха = 0,92), известность (α Кронбаха = 0,92),

высота (α Кронбаха = 0,78), резкость (α Кронбаха = 0,85), сила (α Кронбаха = 0,76) (таблица 1).

Эти шкалы содержат те же самые признаки, что и в предыдущем исследовании и обладают такой же надежностью, несмотря на то, что в исследовании принимали участие другие люди и предъявлялись другие звуки.

Полученные результаты дают нам возможность использовать сконструированную методику СД для семантического описания звуковых фрагментов по 6 шкалам. Латентные переменные, определяющие описания естественных и искусственных звуков, идентичны.

Результаты исследования показали наличие корреляционной связи между семантическим описанием звуковых фрагментов (естественных, реверсивных и тональных) и воспроизведением их длительности. С наименьшей временной ошибкой воспроизводились длительности звуков, оцениваемые как естественные, известные и сильные. Причем с меньшей временной ошибкой воспроизводились: естественные звуки, оцениваемые как более естественные и сильные; реверсивные звуки, оцениваемые как более естественные, известные и сильные; тональные звуки, оцениваемые как более известные и плавные. Анализ результатов показал также, что длительности естественных звуков (505 мс, 995 мс) воспроизводились с меньшей ошибкой, чем реверсивные и тональные звуки аналогичной длительности (Садов, Шпагонова, 2007).

Экспериментально установлено, что громкий звук кажется более длительным, чем менее громкий (Фресс, Пиаже, 1972). В нашем исследовании объективная громкость звучаний была одинакова для всех звуков (естественных, реверсивных и тональных), с наименьшей ошибкой воспроизводились звуки, оцениваемые как громкие, сильные, звонкие. Влияние сложности звукового сигнала на восприятие его длительности изучалось рядом авторов, которые показали, что более сложные сигналы воспринимались как более длительные (Шиффман, 2003). В нашей работе с наименьшей ошибкой воспроизводились звуки, оцениваемые как известные, знакомые, встречаемые, обычные.

Выводы

- 1 Выявлено шесть латентных переменных, определяющих описание звуков.
- 2 Латентные переменные идентичны для естественных, реверсивных и тональных звучаний.
- 3 Сконструированы шкалы описания звуковых фрагментов и определены их психометрические характеристики (надежность-согласованность, перекрестная валидность).

Бланк семантического дифференциала

Высокий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Низкий
Слабый	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Сильный
Неприятный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Приятный
Искусственный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Естественный
Крупнообъемный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Малообъемный
Механический	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Природный
Незнакомый	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Знакомый
Глухой	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Звонкий
Пугающий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Расслабляющий
Большой по площади	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Малый по площади
Яркий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Тусклый
Тоскливый	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Радостный
Размытый	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Четкий
Грустный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Веселый
Концентрированный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Размытый
Долгий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Краткий
Встречаемый	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Невстречаемый
Известный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Неизвестный
Точечный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Объемный
Ритмичный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Мелодичный
Горестный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Счастливый
Непротяженный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Протяженный
Одушевленный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Неодушевленный
Неживой	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Живой
Стандартный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Нестандартный
Объемный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Плоский
Узкий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Широкий
Унылый	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Торжествующий
Комфортный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Некомфортный
Привлекающий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Отталкивающий
Радостный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Печальный
Резкий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Плавный
Минорный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Мажорный
Тихий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Громкий

Тонкий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Толстый
Утомительный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Неутомительный
Успокаивающий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Раздражающий
Желаемый	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Нежелаемый
Длинный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Короткий
Законченный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Незаконченный
Плавный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Обрывистый
Легкий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Тяжелый
Жесткий	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Мягкий
Острый	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Тупой
Неблагоприятный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Благоприятный
Локализованный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Нелокализованный
Необычный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Обычный
Синтетический	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Живой
Незаметный	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	Заметный

- 4 С наименьшей ошибкой воспроизводились звуки, оцениваемые как естественные, известные и сильные. Длительности естественных звуков (505 мс, 995 мс) воспроизводились с меньшей ошибкой, чем реверсивные и тональные звуки аналогичной длительности.

Нам удалось показать, что воспроизведение длительности звуков связано с их семантическим содержанием. Мы считаем, что при формулировании теоретических гипотез и конструировании психофизических моделей наши экспериментальные данные могут быть полезны.

ЛИТЕРАТУРА

- Анастаси А. Психологическое тестирование. В 2 т. М.: Педагогика, 1982.
- Гусев А. Н., Михалевская М. Б., Измайлов Ч. А. Измерение в психологии. М.: УМК Психология, 2005.
- Епифанов Е. Г. Акустическая среда в системе сенсорно-моторной регуляции // Проблемы экологической психоакустики. М.: ИП РАН, 1991. С. 89–117.
- Лисенкова В. П., Шпагонова Н. Г. Индивидуальные и возрастные особенности восприятия времени (на примере детской, подростковой и юношеской выборок) // Психологический журнал. 2006. Т. 27. №3. С. 49–57.
- Носуленко В. Н. Психология слухового восприятия. М.: Наука, 1988.

- Садов В. А., Шпагонова Н. Г. Оценка и воспроизведение длительности естественных и искаженных звучаний // Ежегодник РПО. Материалы 111 Всероссийского съезда психологов. СПб: Изд-во СПбГУ, 2003. Т. 7. С. 19–22.
- Садов В. А., Шпагонова Н. Г. Экологический подход в исследовании восприятия времени // Труды Второй международной конференции по когнитивной науке. СПб., 2006. Т. 2. С. 417–418.
- Садов В. А., Шпагонова Н. Г. Роль семантики в восприятии длительностей естественных и психофизических сигналов // Психофизика сегодня. М.: Изд-во ИП РАН, 2007. С. 297–303.
- Фресс П., Пиаже Ж. Восприятие и оценка времени // Экспериментальная психология. М.: Прогресс. 1978. Вып. VI.
- Шиффман Х. Р. Восприятие времени // Ощущение и восприятие. 5-е изд. СПб.: Питер, 2003.
- Bella S. D., Pekets., Aronoff N. Time course of melody recognition: a gating paradigm study // Perception & Psychophysics. 2003. V. 65. P. 1019–1028.
- Fortin C. & Breton R. Temporal interval production and processing in working memory // Perception & Psychophysics. 1995. V. 57. P. 203–215.
- Sadov V. A. Two Approaches to Study of the Perception of Time // Time, personality, memory. Ed. N. N. Korzh. Journal of Russian and East European Psychology. 1993. Vol. 31. № 5. P. 21–33.
- Schaefer F. The effect of system response time on temporal predictability of work flow in human-computer // Human Performance. 1990. V. 3. P. 173–186.
- Tresilian J. R. Perceptual and cognitive process in time-to-contact estimation: Analysis of prediction-motion and relative judgment task // Perception & Psychophysics. 1995. V. 57. P. 231–245.

ГЛАВА 11

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЦВЕТОВЫХ ИЛЛЮЗИЙ

Стремительно возрастающий интерес к исследованию зрительных иллюзий вполне объясним, так как это позволяет выявить структуру зрительной системы человека. Несмотря на то, что имеются некоторые трудности в строгом определении «иллюзии» (поскольку существует мнение, что зрение в целом есть иллюзия – Eagleman, 2001), уже открыты многие типы иллюзий, которые подвергаются тщательным теоретическим и экспериментальным исследованиям и которые имеют свои наименования.

В данной работе мы рассмотрим некоторые яркостные и цветные иллюзии, при описании которых используются такие термины как неоновые цвета (neon color spreading), одновременный цветовой контраст, перцептивное завершение (perceptual completion), зрительное заполнение (visual filling-in), ассимиляция. Конечно, эти термины в отечественной науке еще не устоялись, тем более что для некоторых явлений можно использовать другие термины, более адекватно описывающие ситуацию. Например, при описании иллюзии неоновых цветов или иллюзии акварели (watercolor illusion) (Pinna, Grossberg, 2005) можно использовать слово «окрашивание», при смене цвета центральной части стабилизированного на сетчатке цветного изображения на цвет окружения (Krauskopf, 1963) или иллюзии Крейка – О'Брайана – Корнсуита (O'Brien, 1958) лучше использовать слово «заполнение». Однако и в англоязычной литературе не наблюдается единого мнения об использовании этих терминов. О перцептивном заполнении в последние несколько лет появилось множество публикаций психологов, нейропсихологов, специалистов в области моделирования нейронных сетей, философов. Именно

поэтому термин «заполнение» часто используется для обозначения совершенно разных явлений и процессов. Иногда для того, чтобы описать, что воспринимает субъект; иногда, чтобы сослаться на процессы, происходящие в мозге. Этот термин также применяется для описания разного рода феноменов перцептивного завершения. Например, хотя иллюзорное восприятие контуров и яркости включают разные процессы, термин «заполнение» часто используется в связи с обоими: говорят, что линия сегмента при иллюзии Канижи заполняет область между индукторами и что яркость или цвет заполняют пространство поперек границ этой области. Но как бы мы ни пытались доказать предпочтительность того или иного использования этих терминов, очевидно, что без концептуального их прояснения будет оставаться масса неприятных противоречий. Например, действительно ли эти два типа завершения включает общие принципы и механизмы? Или они отличаются? Поэтому не приходится удивляться, что в большинстве теоретических дискуссий противоречия возникают из-за того, что участники, по-видимому, говорят о разных вещах.

Разрешение данной проблемы, вероятнее всего, будет заключаться в том, что будет исследоваться все более широкий круг иллюзий и характеристик, описывающих эти иллюзии, и сходство или различие процессов, происходящих при их формировании, более четко определит границы использования этих терминов.

Начало таких исследований условно можно отнести ко времени открытия слепого пятна, поскольку отсутствие какого-либо темного пятна в зрительном поле подразумевало некое перцептивное заполнение этой области. Но конкретная постановка проблемы заполнения начинается с экспериментов Краускопфа (Krauskopf, 1963) со стабилизированными относительно сетчатки цветными изображениями. При стабилизации стимула в виде красного кольца с зеленой центральной областью испытуемый воспринимает эту центральную область как окрашенную в цвет окружения, т. е. как красную, несмотря на то, что на эту часть сетчатки попадает зеленый свет. Аналогичное заполнение происходит при вышеупомянутой иллюзии Крейка–О’Брайана–Корнsvита, но перцептивное заполнение одного из полей большей яркостью определяется уже формой границы между этими физически равнояркими полями. Эти результаты, как и многие другие, показывают, что воспринимаемый цвет поверхности зависит не только от света отраженного от поверхности, но и от изменений яркости или цвета поперек границ данной поверхности. Но если границы, как стабилизированные, так и изменяющиеся, так важны, то как мозг ведет себя при отсутствии границ, т. е. как он в состоя-

нии определить цвет и яркость непрерывных областей? Имеется ли некоторый активный процесс заполнения на нейронном уровне? Пытаясь ответить на эти вопросы, некоторые ученые в области зрения предлагают теории и компьютерные модели, основанные на идее о процессе нейронного заполнения, включающего в себя как распространяющуюся, диффузную активность, так и другие формы нейронного заполнения. Другие возражали против этой идеи, предполагая, например, что сама величина контраста на границах может быть использована для определения характеристик качества поверхности, таких как яркость или цвет.

Новый толчок в развитии этого направления связан с открытием иллюзии Канижи и всевозможных конфигураций формирующих неоновые цвета. Полный обзор по иллюзиям этого типа можно найти в работе Брессан (Bressan et al., 1997). Иллюзии этого типа легко формировать на экране монитора, при этом можно варьировать любые яркостные, цветовые и пространственные параметры конфигурации, вызывающей иллюзорные цвета или контуры, и, следовательно, экспериментально проверять как теоретические гипотезы, так и результаты моделирования процессов, определяющих появление иллюзий. Например, в работе Пинны и Гроссберга (Pinna, Grossberg, 2005) исследовались средние оценки эффекта окрашивания при иллюзиях неоновых и акварельных цветов в зависимости от изменения пространственных параметров конфигурации формирующей эти иллюзорные цвета. Это очень эффективно при моделировании процессов формирования перцептивного заполнения, окрашивания, завершения, неоновых цветов, так как помогает уточнять количественные параметры, используемые в модели, и, соответственно, предсказывать новые качественные и количественные соотношения между субъективными параметрами различных иллюзий.

Естественно, эти модели применимы не только и даже не столько для описания различного вида яркостных и цветовых иллюзий, а для моделирования мозговых структур отображающих зрительную информацию о внешнем мире. Например, Гроссберг и Минголла (Grossberg, Mingolla, 1985) утверждали что во время восприятия яркости, цвета и формы происходит обработка информации в двух параллельных системах – системе контура границы (BCS – boundary contour system) и системе контура признаков (FCS – feature contour system). Система BCS используется для генерации границ, как реальных, так и иллюзорных. Система FCS запускает процесс заполнения посредством распространения яркости или цвета, пока они либо не натолкнутся на их первый контур границы, либо пока они не ослабнут в процессе пространственного распространения.

Граничные контуры сами по себе могут быть не видны, но они усиливают видимость, ограничивая заполнение, которое запускается сигналами контура признаков и тем самым, вызывая контрасты признака (например, иллюзорного цвета) на границе иллюзорно окрашенной области.

Эти краткие, схематичные описания как самих феноменов появления иллюзорных контуров и иллюзорных цветов, так и работы моделей были приведены, чтобы подчеркнуть, что они подразумевают некие динамические процессы – заполнение, окрашивание, распространение яркости или цвета. Тем не менее никто не видит какого-либо процесса распространения или закрашивания, все видят фигуру или цвет. Но это не означает, что они возникают мгновенно. И именно временные характеристики этих динамических по своей природе процессов играют важную роль при выяснении принципов и внутренних механизмов, лежащих в основе явлений, которые мы называем зрительным «заполнением», перцептивным завершением и т. п. Необходимость оценить временные характеристики этих процессов возникает также при поиске связи между нейронным и перцептивным уровнями описания этих процессов.

В этой связи интересную работу провели Де Веерд с соавт. (De Weerd et al., 1995). Они определили временную динамику перцептивного заполнения для человека. Использовалась большая текстура в виде белых полосок на черном фоне с однородным пятном, равномерным полоскам текстуры в середине и находящимся в 8 градусах от точки фиксации. Испытуемый получал инструкцию указывать, когда пятно покажется заполненным окружающей текстурой. При возрастании размера пятна от 1 до 12,8 градуса время, необходимое, для того чтобы оно казалось заполненным, постоянно возрастало. Затем была произведена запись откликов для корковых клеток в области V2 и V3 двух обезьян, которые наблюдали такое же изображение, при этом они вознаграждались за удержание точки фиксации. Для каждой клетки пятно помещалось в центр ее рецептивного поля. Имелось две основные экспериментальные ситуации. Первая: отклики от клетки записывались для текстуры с пятном (такая же текстура с пятном использовалось для человека). Вторая: обезьянам предъявлялась текстура без пятна в качестве контрольного стимула, чтобы можно было сравнить отклики, получаемые для этих двух одинаковых текстур, отличающихся только наличием пятна.

Клеточные отклики в области V2 и V3 выявили нейроны, для которых частота пульсаций текстуры с пятном была сначала ниже, чем текстуры без пятна, но затем постепенно увеличивалась почти

до такого же уровня. Это явление авторы назвали поднимающейся активностью (climbing activity). Другими словами, после нескольких секунд фиксации эти клетки откликаются на текстуру с пятном так, как если бы это была текстура без дырки. Де Веерд с соавт. предположили, что перцептивное заполнение происходит при минимизации различий откликов на текстуру с пятном и без пятна. Временные оценки процесса перцептивного заполнения текстурой полученные таким методом 6–9 сек.

Имеется огромное количество работ по пространственным переменным, определяющих яркостную и цветовую индукцию, и значительно меньшее исследований временных переменных. Однако есть несколько работ, результаты которых наглядно демонстрируют динамический характер процесса перцептивного заполнения. Парадизо, Накаяма (Paradiso, Nakayama, 1991) использовали парадигму зрительной маскировки для исследования двух проблем: роли информации о краях в определении яркости однородных областей и временной динамики перцептивного заполнения. Они рассуждали так: если процесс заполнения включает некоторую форму распространения активности, то можно продемонстрировать ее существование посредством ее прерывания. Если границы прерывают заполнение, то что случится, когда вводятся новые границы? Воздействуют ли они на процесс первоначального заполнения до того, как он завершен?

В качестве тестового сигнала использовалось светлое круглое пятно на темном фоне.

Тест предъядвляется первым и заменяется через определенный интервал времени маской в виде прямоугольной сетки из тонких светлых полос, которые и являются новыми границами. Для интервалов времени от 50 до 100 мсек яркость центральной области пятна значительно уменьшается. Если маска предъядвляется после 100 мсек, яркость центральной области не меняется. Наиболее поразительным результатом явилось то, что подавление яркости зависит от дистанции между тестом и маской. В частности, для больших дистанций максимальное подавление происходит в более позднее время.

Результаты Парадизо и Накаямы согласуются с гипотезой, согласно которой яркостные сигналы генерируются на границах тестового сигнала и распространяются внутри со скоростью 110–150 град/сек (6,9–9,2 мсек/град). Идея о том, что новый контур прерывает распространение яркости, проявляется наиболее наглядно в случае, когда вводится кольцевая маска. При тех же временах задержки это приводит к появлению темного пятна, ограниченного кольцевой маской в центре теста, ибо яркость, распространяющаяся от границы теста,

по-видимому, «блокируется» появлением новой маскирующей границы. Конечно, описанные выше методы для измерения временных характеристик имеют как свои достоинства, так и недостатки, но эти данные очень точно совпадают с моделью, описывающей эффект «заполнения» при восприятии яркости, предложенной Гроссбергом и Тодоровичем (Grossberg, Todorovic, 1988). Такая тесная связь между психофизикой, нейрофизиологией и моделированием, без сомнения, указывает на перспективность этих исследований и требует дальнейшей разработки методов измерения как пространственных, так и временных характеристик параметров, определяющих процессы формирования иллюзий такого типа.

В отличие от описанных выше методов для измерения временной динамики перцептивного заполнения нами был применен метод подпороговой суммации, описанный в нашей работе (Гарусев, 2007), для неоновых цветов. Попытки применить метод подпороговой суммации для исследования иллюзорных контуров и цветов с переменным успехом предпринимались как раньше (Dresp, Bonnet, 1995; Rieger, Gegenfurtner, 1999), так и в настоящее время (Salvano-Pardieu et al., 2006). На начальном этапе нами были предприняты попытки выяснить, можно ли применить метод подпороговой суммации для исследования взаимодействия реальных цветовых стимулов и иллюзорных цветов для таких иллюзий как одновременный цветовой контраст и иллюзия Канижи (Гарусев, 2004). Взаимодействие наблюдалось. В настоящей работе была предпринята попытка измерить зависимость степени взаимодействия реального тестового стимула с иллюзорным неоновым цветом в зависимости от времени задержки между началом предъявления иллюзии и началом предъявления тестового стимула. Эта зависимость и отражает динамику формирования иллюзорного неоновых цвета. Иллюзия неоновых цвета формировалась четырьмя наборами черных концентрических окружностей, расположенных в виде квадрата с внутренними окрашенными 90-градусными дугами, края которых и образуют воображаемый квадрат такого же цвета. Варьировалось время задержки между началом предъявления внешних и внутренних сегментов, формирующих иллюзию, и тестовым стимулом, совпадающим по форме с областью неоновых цвета. Оценивалась степень взаимодействия иллюзорного неоновых цвета и реального цвета тестового стимула (Гарусев, 2007). В качестве тестового стимула использовался красный квадрат. Из полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы.

Во-первых, степень взаимодействия зависит как от времени задержки тестового стимула, так и от цвета внутренних дуг, которые

определяют цвет неоновой окраски (естественно, в данных экспериментах интенсивность внутренних дуг была такой чтобы неоновая окраска еще не возникала, так как она должна быть подпороговой). Это указывает на то, что в процессе формирования иллюзии, по-видимому, некие механизмы зрительной системы (например, BCS и FCS) имеют различное время обработки для разных неоновых цветов.

Во-вторых, при изменении времени задержки величина взаимодействия в зависимости от цвета изменяется не только по величине, но и по знаку. Это означает, что зрительное заполнение поверхности неоновым цветом происходит не плавно, а с периодами возбуждения и торможения распространяющейся нейронной активности.

В-третьих, для всех подпороговых иллюзорных цветов при временах задержки от 70 до 300 мсек их взаимодействие с реальным цветом тестового стимула аналогично взаимодействию при иллюзии одновременного цветового контраста, а не взаимодействию реальных подпороговых и тестовых цветов, как ожидалось (Гарусев, 2004). Действительно, при одновременном цветовом контрасте иллюзорный цвет внутренней области является приблизительно дополнительным к цвету окружения, формирующего эту иллюзию, в то время как неоновые цвета имеют окраску внутренних дуг. Следовательно, можно было сделать вывод (исходя из результатов, полученных для одновременного цветового контраста), что и их взаимодействие с тестовым стимулом должно определяться именно иллюзорным цветом соответствующей иллюзии. Было проверено возможное влияние внутренних окрашенных дуг как возможного источника возникновения параллельной иллюзии одновременного цветового контраста на взаимодействие подпороговых цветов и цвета тестового стимула. При отсутствии внешних частей концентрических окружностей (т. е. при отсутствии иллюзии неоновых цветов) при тех же цветах и яркостях внутренних дуг их взаимодействие с тестовым стимулом не наблюдалось. Следовательно, такое «аномальное» взаимодействие иллюзорных и реальных цветов на некоторых стадиях формирования иллюзии определяется именно интегральным воздействием всей конфигурации определяющей иллюзию неоновых цветов.

ЛИТЕРАТУРА

- Bressan P., Mingolla E., Spillmann L. Watanabe T. Neon color spreading: a review // Perception. 1997. V. 26. P. 1353–1366.
- De Weerd P., Gattass R., Desimone R., Ungerleider L. Responses of cells in monkey visual cortex during perceptual filling-in of an artificial scotoma // Nature. 1995. V. 377. P. 731–734.

- Dresp B., Bonnet C.* Subthreshold summation with illusory contours // *Vision Research*. 1995. V. 35. P. 1071–1078.
- Eagleman D. M.* Visual illusions and neurobiology // *Nature Reviews Neuroscience*. 2001. V. 2. P. 920–926.
- Grossberg S., Mingolla E.* Neural dynamics of form perception: Boundary completion, illusory figures, and neon color spreading // *Psychological Review*. 1985. V. 92. P. 173–211.
- Grossberg S., Todorovic D.* Neural dynamics of 1-D and 2-D brightness perception: A unified model of classical and recent phenomena // *Perception and Psychophysics*. 1988. V. 43. P. 241–277.
- Krauskopf J.* Effect of retinal image stabilization on the appearance of heterochromatic targets // *Journal of the Optical Society of America*. 1963. V. 53. P. 741–744.
- O'Brien V.* Contour perception, illusion, and reality // *Journal of the Optical Society of America*. 1958. V. 48. P. 112–119.
- Paradiso M. A., Nakayama K.* Brightness perception and filling-in // *Vision Research*. 1991. V. 31. P. 1221–1236.
- Pinna B., Grossberg S.* The watercolor illusion and neon color spreading: a unified analysis of new cases and neural mechanisms // *Journal of the Optical Society of America A*. 2005. V. 22. № 10.
- Rieger J. W., Gegenfurtner K. R.* Contrast sensitivity and appearance in illusory figures // *Spatial Vision*. 1999. V. 12. P. 329–344.
- Salvano-Pardieu V., Wink B., Taliercio A., Manktelow K., Meigen T.* Can subthreshold summation be observed with the Ehrenstein illusion? // *Perception*. 2006. V. 35. P. 965–981.
- Гарусев А. В.* Экспериментальное моделирование цветовых иллюзий различного уровня методом подпороговой суммации // Труды международной конференции «Искусственные и интеллектуальные системы» (IEEE AIS'04) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2004) / М.: Изд-во физ.-мат. литературы. 2004. Т. 2. С. 207–209.
- Гарусев А. В.* Пороговые методы при исследовании иллюзий // Психофизика сегодня / Под ред. В. Н. Носуленко, И. Г. Скотниковой. М.: ИП РАН, 2007.

ГЛАВА 12

ВОСПРИЯТИЕ ЭКСПРЕССИВНЫХ СХЕМ ЛИЦ И ХАРАКТЕРИСТИК ТЕМПЕРАМЕНТА

Проблема восприятия лица была и остается одной из интереснейших и всегда актуальных задач многих отраслей психологической науки. Это закономерно, поскольку лицо человека является одним из основных источников получения информации о воспринимаемой личности в процессе общения (Барабанчиков, 2002, 1990, 1981; Бодалев, 1983; Гибсон, 1988; Журавлев, 1983; Фейгенберг, 1989; Belsky, 1991; Артемцева, 2003; Лабунская, 1995), адекватное восприятие лицевых экспрессивных состояний важно при решении проблем профессиональной пригодности, общественной и личной безопасности, актерского мастерства и др. (Рождественский, 1979; Русалов, 1990; Подорога, 1995; Барабанчиков, 2004).

Актуальность данного исследования определяется и фундаментальными проблемами, которые встают перед психологией. Имеются в виду принципы организации перцептивного процесса и механизмы восприятия экологически валидных событий (Бубер, 1995; Барабанчиков, 2002, 2004).

Одной из **целей** исследования было изучение взаимосвязи опознавания эмоциональных схем лица, предъявляемых в микроинтервале времени на фоне «зашумленного» экрана, и проявлениями темпераментальной активности.

В эксперименте использовалась методика опознавания паттернов, предъявленных на фоне «шума» длительностью до 100 мс. На экране персонального компьютера на фоне «шума» в случайном порядке предъявлялись различные паттерны, размером 6–9°. «Шум» представлял собой точечное «закрашивание» экрана. Степень «зашумленности» была подобрана экспериментально в процессе пилотажных исследований и менялась по определенному принципу (95%, 90%, 85%, 80%, 75%, 70%, 65%, 60%, 55%, 50%, 45%, 0% от общей площади экрана). В процессе эксперимента использовалась гаран-

тированная экспозиция стимулов, равная 100 мс. С этой целью была написана программа на языке СИ для операционной системы Linux. Программа включает генератор случайных чисел, что позволило предъявлять паттерны в случайном порядке при любом уровне зашумления. Сложность восприятия контролировалась степенью зашумленности экрана, что приводило к эффекту, аналогичному уменьшению времени экспозиции. Появлению тестовых стимулов предшествовало предэкзменационное поле с центральной точкой фиксации. Сразу же после конца экспозиции предъявлялось маскирующее поле. Следующий стимул для опознания предъявлялся по команде испытуемого (нажатие определенной клавиши) спустя 2–3 мин после предъявления предыдущего. В это время испытуемый заносил свои ответы в заранее подготовленный бланк. В данном случае была использована вербальная оценка тестовых стимулов. Время ответа не ограничивалось.

Результаты исследования

Опознание эмоциональных схем лица осуществлялось по двум критериям: по началу опознания эмоций и по количеству правильных ответов. Сочетание этих двух критериев определяло эффективность опознания лицевых экспрессий. В качестве проявлений темпераментальной активности были взяты уровень экстравертированности и уровень нейротизма по классическому опроснику Г. Айзенка (Айзенк, 1999) и показатели темпераментальной активности по опроснику Русалова (Русалов, 1990). Результаты подвергались корреляционному, дисперсионному и факторному анализу при помощи стандартного статистического пакета SPSS.

Результаты корреляционного анализа представлены в таблицах 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Наиболее интересные результаты обнаружались при разделении всех испытуемых на группы по признаку выраженности нейротизма (высокий, низкий, средний). К группе с высоким нейротизмом относились испытуемые, которые имели данный показатель, равный 17 и более баллов по опроснику Г. Айзенка. К группе с низким нейротизмом относились испытуемые, которые набирали 7 и менее баллов. У испытуемых со средним нейротизмом количество набранных баллов укладывалось в пределы от 8 до 16.

Обсуждение результатов

Согласно полученным данным, характер связи эффективности опознания эмоциональных схем с формально-динамическими характеристиками воспринимающей личности зависит от уровня нейротизма испытуемого: высокого, низкого или среднего.

Таблица 1
КОРРЕЛЯЦИИ НАЧАЛА ОПОЗНАНИЯ
ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ ПАТТЕРНОВ
С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕМПЕРАМЕНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЛИЧНОСТИ
ПРИ ВЫСОКОМ НЕЙРОТИЗМЕ ($N \geq 17$)

	Э-И	Н	Сэр	СП	СТ	Сэм	Эр	П	Т	Эм	К
лицо	-,16	-,22	-,18	,287	,053	-,13	,51'	,174	,198	-,39'	-,03
гнев	,037	,477'	-,16	-,07	-,37'	,192	,04	,027	-,18	,187	,258
грусть	,094	,204	-,08	,137	,096	,051	,314	-,05	,032	-,03	,326
радость	,424'	,568''	-,1	,327	,294	,884''	-,1	-,09	,074	,455'	-,31
спо- койст- вие	,159	,582''	,044	-,18	-,17	,073	-,03	,167	,463'	-,2	-,39'
страх	-,28	-,5'	-,57	,721''	,866''	-,98''	-,24	0	-,5	-,98''	-,87''
удивле- ние	,091	,047	-0	,303	-,07	,244	,035	,208	-,08	-,37	-,07
эмоции	,274	,385'	,068	,267	,207	,138	,424	-,08	,258	,031	,251
отвра- щение	Не опознавалось										

Таблица 2
КОРРЕЛЯЦИИ НАЧАЛА ОПОЗНАНИЯ
ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ ПАТТЕРНОВ
С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕМПЕРАМЕНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЛИЧНОСТИ
ПРИ НИЗКОМ НЕЙРОТИЗМЕ ($N \leq 7$)

	Э-И	Н	Сэр	СП	СТ	Сэм	Эр	П	Т	Эм	К
лицо	-,2	-,06	-,43'	-,75''	-,24	,134	,831''	-,77''	-,6''	,515'	-,61''
гнев	-,67''	,492'	-,61''	-,94''	-,55'	,887''	-,4'	-,38'	-,83''	,566''	-,98''
грусть	-,19	0	-,25	-,54''	-,1	,853''	0	-,74''	-,33	,816''	-,71''
радость	-,97''	,979''	1''	-,7''	-,99''	,658''	-,98''	-,28	-,69''	,42'	-,73''
спо- койст- вие	-,53'	,334	-,77''	-,85''	-,61'	,204	,657''	-,83''	-,73''	,583''	-,71''
страх	-,5'	0	-,98''	-,65''	-,5'	1''	-,76''	-,4'	,866''	,866''	-,87''
удивле- ние	0	-,18	-,08	-,37''	,078	,753''	,16	-,76''	-,14	,801''	-,55'
эмоции	-,35	,232	-,54'	-,41'	-,38'	,802''	,045	-,77''	-,2	,983''	-,61''
отвра- щение	Не опознавалось										

Таблица 3

КОРРЕЛЯЦИИ НАЧАЛА ОПОЗНАНИЯ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ ПАТТЕРНОВ
С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕМПЕРАМЕНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЛИЧНОСТИ ПРИ СРЕДНЕМ
НЕЙРОТИЗМЕ ($8 \leq N \leq 16$)

	Э-И	Н	Сэр	СП	СТ	Сэм	Эр	П	Т	Эм	К
лицо	,327	,041	,151	,241	,004	-,01	,133	,024	-,24	-,31	,143
гнев	,63**	-,1	,613**	,785**	,484**	-,28	,029	,428*	-,18	-,03	,062
грусть	,588**	,101	,678**	,49*	,646**	,008	,061	,463*	-,21	-,04	-,44*
радость	,643**	-,05	,564**	,329	,349	-,28	,16	,38*	-,32	,046	0
спокойствие	,648**	,176	,542*	,552*	,166	-,2	,167	,134	-,5*	-,14	,051
страх	,473*	-,88**	,496*	,496*	,68**	-,84*	-,55**	,394*	-,23	-,92**	-,37*
удивление	,094	,047	,27	,27	,128	,006	,092	,178	-,07	-,05	0
эмоции	,615**	-,2	,489*	,489*	,29	-,03	,033	,584**	-,07	-,36*	-,13
отвращение	Не опознавалось										

Полужирным шрифтом выделены значимые корреляции.

* – уровень значимости 0,05; ** – уровень значимости 0,01.

Э-И – уровень экстравертированности; Н – уровень нейротизма; Сэр – социальная эргичность; СП – социальная пластичность; СТ – социальный темп; Сэм – социальная эмоциональность; Эр – предметная эргичность; П – предметная пластичность; Т – предметный темп; Эм – предметная эмоциональность; К – контроль (адекватная – неадекватная оценка своего поведения, желание выглядеть лучше, чем на самом деле).

Таблица 4

КОРРЕЛЯЦИИ КОЛИЧЕСТВА ПРАВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ НА ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ
ПАТТЕРНЫ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕМПЕРАМЕНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЛИЧНОСТИ
ПРИ ВЫСОКОМ НЕЙРОТИЗМЕ ($N \geq 17$)

лицо	,098	,179	,107	,352	,301	-,139	,274	,144	,254	-,336	,241
гнев	-,182	,377*	-,132	,061	-,426*	,06	-,015	,237	,241	-,487*	-,367*
грусть	,044	-,099	,276	-,266	,301	-,385*	,441*	-,197	,512*	-,223	-,008
радость	-,132	,011	,049	-,122	-,032	,178	,049	-,383*	,267	-,26	-,5*
спокойствие	-,426*	,494*	-,18	-,31	-,541*	-,081	-,144	,246	,02	-,373*	-,25
страх	,67*	,084	,555*	,37	,217	-,018	,263	-,24	,387*	-,089	,217
удивл.	-,34	,241	-,205	-,008	-,15	-,097	,063	,371*	,209	-,529*	-,367*
эмоции	-,163	,103	,034	-,086	-,101	-,092	,241	-,031	,391*	-,422*	-,358
отвращение	Не опознавалось										

Таблица 5
КОРРЕЛЯЦИИ КОЛИЧЕСТВА ПРАВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ
НА ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ПАТТЕРНЫ
С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕМПЕРАМЕНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЛИЧНОСТИ
ПРИ НИЗКОМ НЕЙРОТИЗМЕ ($N \leq 7$)

	Э-И	Н	Сэр	СП	СТ	Сэм	Эр	П	Т	Эм	К
лицо	-,2	-,064	-,425*	-,751**	-,228	,148	,823**	-,758**	-,605**	,517*	-,62**
гнев	-,479*	,256	-,65**	-,876**	-,515*	,	,7**	-,688**	-,794**	,412*	-,702**
грусть	-,154	-,08	-,451*	-,663**	-,233	,032	,886**	-,839**	-,495*	,536*	-,509*
радость	-,599*	,825*	-,869**	-,613**	-,744**	,173	,404**	-,81**	-,496*	,606**	-,525*
спо- койст- вие	-,877*	,776**	-,809**	-,876**	-,854**	,264	,089	-,255	-,946*	,147	-,758**
страх	-,802*	,691**	-,673**	-,85**	-,742**	,216	,072	-,107	-,952*	,006	-,72**
удивле- ние	-,133	-,077	-,487*	-,56**	-,238	,198	,784**	-,965**	-,337	,758**	-,495*
эмоции	-,513*	,313	-,744**	-,842**	-,588**	,163	,681**	-,809**	-,728**	,544*	-,694**
отвра- щение	Не опознавалось										

Таблица 6
КОРРЕЛЯЦИИ КОЛИЧЕСТВА ПРАВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ
НА ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ПАТТЕРНЫ
С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕМПЕРАМЕНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЛИЧНОСТИ
ПРИ СРЕДНЕМ НЕЙРОТИЗМЕ ($8 \leq N \leq 17$)

	Э-И	Н	Сэр	СП	СТ	Сэм	Эр	П	Т	Эм	К
лицо	,503*	,038	,395*	,34	,268	-,119	-,008	,032	-,51*	-,319	-,196
гнев	,27	-,009	,145	,544*	-,054	,124	,414*	,546*	,257	,083	,458*
грусть	,215	-,189	,175	,33	,055	,148	,308	,563**	,155	-,134	,265
радость	,329	-,238	,071	,216	-,168	,12	,13	,332	,099	-,328	,464*
спо- койст- вие	,165	-,137	,025	,166	-,451*	-,086	,223	,136	-,133	-,254	,362*
страх	-,061	,213	-,177	,053	,148	,403*	,031	,281	,523*	,434*	,104
удивле- ние	,047	-,365*	,06	,275	-,149	-,136	,042	,286	-,08	-,389*	,088
эмоции	,228	-,19	,093	,373	-,156	,093	,257	,469*	,125	-,189	,382*
отвра- щение	Не опознавалось										

Полужирным шрифтом выделены значимые корреляции.

* – уровень значимости 0,05; ** – уровень значимости 0,01.

Больше всего значимых корреляций между эффективностью опознания экспрессивных схем лица и свойствами темперамента показывают люди с низким нейротизмом. Однако знак корреляции меняется в зависимости от конкретного темпераментального свойства. *Уровень экстравертированности* имеет только отрицательные зависимости от эффективности опознания эмоций на лице. Это значит, что лица с *низким* нейротизмом при увеличении показателя экстраверсии демонстрируют уменьшение эффективности опознания экспрессивных схем лица. У испытуемых со *средним* уровнем нейротизма, наоборот, с увеличением уровня экстравертированности растет эффективность опознания экспрессивных схем лица. У лиц с высоким уровнем нейротизма уровень экстравертированности не оказывает влияния на эффективность опознания, за исключением эмоции радости.

Испытуемые с высоким уровнем тревожности имеют некоторые особенности при восприятии экспрессивных паттернов лица. Иногда у них проявляется тенденция проецировать собственные эмоции, прежде всего, на спокойное выражение лица, а также и на другие эмоциональные проявления. Причем для некоторых испытуемых с высокой тревожностью не имеет значение степень выраженности воспринимаемой эмоции. Полученные наблюдения противоречат известным утверждениям об особо тонком восприятии тревожными людьми эмоций других людей. Этот вопрос требует дополнительного экспериментального исследования. Кроме того, во время проведения экспериментальных работ был замечен факт общения некоторых испытуемых с предъявляемой схемой эмоционального лица, хотя, в данном случае, исследовался процесс восприятия на микрогенетическом уровне. В условиях «нормального» восприятия ($t > 100$ мс, отсутствие «шумовой» завесы) подобные факты уже наблюдались исследователями: люди вели себя так, как в реальной ситуации общения с героем романа, лицом на фотографии или с чем-то подобным (Бубер, 1995; Подорога, 1995). Объяснение этому явлению кроется в социальной природе человека. Осознание и самого себя, и другого возможно только в рамках коллективных форм жизни. Как правило, этот процесс носит эмоционально-чувственный характер. Он совершается в виде идентификации, или отождествления одного человека с другим. В процессе коммуникации человек «вживается» в личность другого, примеряя на себя его черты, чувства, эмоции, но при этом сохраняя свою индивидуальность (Барабанщиков, 2004). Тот факт, что эмоциональные схемы и лицо вызывают заметную (пусть неожиданную) эмоциональную реакцию у ряда испытуемых, которую можно интерпретировать как идентификацию, можно расценивать как доказательство особого статуса эмоционального лица.

Эффективность распознавания экспрессивной схемы «удивление» не показывает никакой взаимосвязи с характеристиками темпераментальной активности у испытуемых со средним и высоким уровнем нейротизма. И только у лиц с низким уровнем нейротизма эффективность опознания «удивления» положительно коррелирует с эмоциональной чувствительностью и отрицательно – с пластичностью без дифференциации на социальную и предметную. Положительные корреляции с эмоциональной чувствительностью не только удивления, но и других эмоциональных паттернов представляются закономерными, поскольку в опроснике Русалова этими показателями измеряется реакция на эмоции человека. И, естественно, экспрессивные лицевые схемы, выражая основные эмоции человека, дают положительную связь с этим показателем. Принимая во внимание интерпретацию Русаловым предметной пластичности как степени гибкости мышления, степень его стереотипности, уровень переключаемости с одного вида деятельности на другой и т. п. и имея высокую отрицательную корреляцию эффективности опознания «удивления» с этим показателем, мы получаем весьма интересный результат. Экспрессивная схема «удивление» имеет прямое отношение к процессу мышления. С социальной пластичностью эта экспрессивная схема также показывает отрицательную корреляцию, но значительно меньше по абсолютному значению. Социальная пластичность трактуется Русаловым как легкость–трудность вступления в новые контакты, коммуникативная рефлексивность–импульсивность, легкость–трудность переключения в процессе общения и т. п. По эффективности опознания экспрессивной схемы «удивление» показатели социального и предметного темперамента оказались связанными между собой.

Эффективность опознания экспрессии «страха» имеет неизменно высокую взаимосвязь фактически со всеми характеристиками темпераментальной активности, но знак корреляции нестабилен и в большинстве случаев все же сохраняет отрицательный характер.

Свойства *социального* и *предметного* темперамента (эргичность, пластичность, темп) показывают значимые отрицательные корреляционные зависимости от эффективности опознания экспрессивных схем лица только для лиц с *низким* уровнем нейротизма. Эти же испытуемые имеют высокие положительные корреляции между эффективностью опознания экспрессии лица и эмоциональной чувствительностью. Иначе говоря, низкий уровень нейротизма, узкий диапазон сферы контактов и деятельности, замкнутость, пассивность, коммуникативная рефлексивность, медленная вербализация, высокая степень чувствительности к неудачам в общении

и деятельности сочетаются с высокой эффективностью опознавания эмоций.

На фоне *среднего* уровня нейротизма наблюдаются положительные корреляции между теми же показателями. Но значимые положительные корреляции принимают более эпизодический характер, особенно в отношении свойств предметного темперамента. У лиц с *высоким* уровнем нейротизма какие-либо связи эффективности опознавания эмоций с показателями социального и предметного темперамента не наблюдаются. Исключение составляет эмоция страха, эффективность опознавания которой отрицательно коррелирует со всеми свойствами темперамента. На фоне *высокого* нейротизма высокий уровень экстравертированности, высокий уровень нейротизма, высокие показатели по свойствам социального и предметного темпераментов сочетаются с низкой эффективностью распознавания экспрессии страха.

Из всего вышеизложенного следует, что начало опознавания эмоций связано с проявлением темпераментальных качеств личности. Особенно ярко это выражено на фоне *низкого* нейротизма. Причем в целом чем раньше опознается эмоция, тем больше выраженность темпераментальных качеств. Только эмоциональная чувствительность увеличивается вместе со смещением начала опознавания эмоций в более раннюю фазу. В большей степени указанная закономерность касается качеств социального темперамента, для предметного темперамента это неоднозначно.

Ярко проявляясь на фоне *низкого* нейротизма, у лиц со *средним* нейротизмом эта зависимость несколько ослабевает и меняет знак. Чем раньше начинает опознаваться эмоция, тем ярче выражается темпераментальное качество. На фоне *высокого* нейротизма эта закономерность угасает. В основном это относится к характеристикам социального темперамента. Для показателей предметного темперамента картина остается стабильно неоднозначной.

Что касается дисперсионного анализа, то его результаты показали высокосignификантные отличия по используемым в эксперименте видам стимулов (коэффициент Фишера $F = 17,105$ с уровнем значимости $Sig = 0,000$). Это значит, что предъявляемые эмоциональные схемы значимо отличаются друг от друга по эффективности опознавания. Такой факт можно считать еще одним плюсом в копилку доказательств существования отдельных базовых эмоций и полноправности использования эмоциональных схем в качестве их представителей.

Кроме того, дисперсионный анализ был проведен с целью выявления, существуют ли значимые отличия в опознании эмоциональных схем между выделенными группами по уровню нейротизма,

а также по уровню экстравертированности и других темпераментальных характеристик. В результате были получены неожиданные, но весьма интересные данные. Несмотря на высокие корреляционные зависимости между эффективностью опознания эмоциональных схем и темпераментальными характеристиками, все же не существует значимых различий по эффективности опознания эмоций у лиц с различным уровнем нейротизма и экстравертированности, но обнаружены при высоком уровне значимости различия между группами испытуемых, различающихся по уровню эмоциональности (и социальной, и предметной), выявляемой методикой Русалова (коэффициент Фишера $F = 15,127$; уровень значимости $Sig = 0,000$). Эффективность опознания эмоциональных схем выше у лиц с высокой и низкой эмоциональностью, чем у лиц со средней эмоциональностью. Дисперсионный анализ показал значимые различия выделенных групп с различной эмоциональностью и по степени проявления нейротизма ($F = 3,403$ и $Sig = 0,048$ для социальной эмоциональности; $F = 6,235$ и $Sig = 0,006$ для предметной пластичности). Причем выявлена почти полная идентичность этих показателей. Хотя если испытуемых поделить на группы по уровню нейротизма (высокий, средний, низкий), то различия между этими группами в опознании эмоций оказываются незначимыми. Напрашивается вывод о том, что нейротизм по Айзенку и эмоциональность по Русалову измеряют весьма сходные психологические структуры (может быть, даже одну и ту же), но с различной степенью точности.

Результаты факторного анализа представлены в таблице 7. Факторизировались начала опознания предъявляемых эмоциональных и вербальных (буквы и слова, обозначающие эмоции) паттернов совместно с показателями уровня экстравертированности и нейротизма. При такой обработке данных выявились различия между двумя группами испытуемых, которые были выделены по способу и эффективности опознания эмоциональных схем на уровне микродинамики процесса восприятия: «синтетиками» и «аналитиками» (Барабанщиков, 2002; Хрисанфова, 2004). «Синтетики» воспринимают мимические выражения как целое, фактически сразу опознавая их как определенную эмоцию без тщательного анализа предъявленного паттерна. «Аналитики» строят свои оценки на выделении отдельных элементов лица и подробном анализе предъявленных паттернов. Как видно из таблицы 7, для группы синтетиков выделилось три фактора, для группы аналитиков – четыре. У синтетиков первый фактор вообрал в себя паттерн лица и фактически все эмоциональные схемы, кроме эмоции страха. Этот фактор условно можно назвать «эмоциональным». Страх вошел во второй фактор

Таблица 7
РЕЗУЛЬТАТЫ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ПО НАЧАЛУ ОПОЗНАНИЯ
ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ ПАТТЕРНОВ

Паттерны восприятия	синтетики			аналитики			
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
лицо	-0,771786	-0,209051	0,006633	0,669712	-0,237379	-0,300510	-0,527365
гнев	-0,723639	-0,298471	-0,334511	0,725578	0,375983	0,177813	0,052397
грусть	-0,742746	-0,178469	-0,160480	0,831800	0,177098	0,106357	0,159881
страх	-0,374008	0,624526	0,016605	0,584385	-0,496940	0,369553	0,103514
удивлен	-0,811246	-0,156997	-0,323859	0,493763	-0,387522	0,020489	-0,623783
спокойствие	-0,558958	0,037620	0,481081	0,565190	0,462848	-0,338073	-0,114581
радость	-0,712357	0,009963	0,302729	0,386740	-0,756710	-0,240280	0,270950
экстраверсия	0,079798	0,440500	-0,581560	0,716937	0,411563	0,185728	0,205141
нейротизм	-0,153858	0,504247	-0,578287	0,288832	-0,546838	0,348535	0,432167
буквы	-0,413499	0,426655	0,221478	0,014307	0,397660	0,817669	-0,182818
слова	-0,225435	0,695067	0,350839	-0,331594	-0,328271	0,614693	-0,363022
Expl.Var	3,540708	1,694291	1,410708	3,428766	2,147347	1,644654	1,186843
Prp.Totl	0,321883	0,154026	0,128246	0,311706	0,195213	0,149514	0,107895

вместе с нейротизмом и паттерном «слова». Это фактор был назван «страх». Третий фактор составили экстраверсия и нейротизм. Его можно назвать «темпераментальным».

У аналитиков в первый фактор вошли также лицо, эмоциональные схемы (кроме удивления) и экстраверсия. Назвать этот фактор довольно сложно, поскольку здесь просвечивают пока неясные причинные связи. Условно он был назван «темпераментально-эмоциональный». Отдельный фактор составила эмоциональная схема «удивление» (вместе с лицом). Этот фактор был назван «удивление». С нейротизмом в одном факторе у «аналитиков» оказался не страх, а радость. Это фактор был назван «радость». Эмоциональная схема радости достаточно резко отделяется от всех остальных эмоциональных схем, что, по всей видимости, облегчает ее поэлементный анализ. Кстати, экстраверсия и нейротизм у «аналитиков» в отличие

от «синтетиков» не составили общего фактора, а разошлись по разным эмоциям. Зато в один фактор вошли паттерны «буквы» и «слова», что еще раз подтверждает различные способы восприятия у выделенных групп. У «синтетиков», воспринимающих все целостно, схематично, слова, скорее всего, воспринимались целостно, не по буквам. Паттерн «буквы» не вошел ни в один фактор. Последний фактор у «аналитиков» можно назвать «вербальным». Выделенные факторы «темпераментально-эмоциональный», «вербальный», «удивление», «радость» у «аналитиков», а также «эмоциональный», «страх» и «темпераментальный» у «синтетиков», совместно с данными кластерного анализа убедительно свидетельствуют о различных механизмах микрогенетического восприятия изучаемых паттернов у выделенных групп испытуемых.

Подводя итог проведенному анализу, можно сделать следующие выводы.

- 1 Используемые в эксперименте эмоциональные лицевые схемы значительно отличаются друг от друга по эффективности опознания.
- 2 Наиболее эффективны в опознании эмоциональных схем лица с низким уровнем нейротизма и средним уровнем экстравертированности. На фоне более позднего начала опознания экспрессивных схем они дают наибольшее число правильных ответов.
- 3 Лица с высоким уровнем нейротизма имеют некоторые особенности при опознании эмоциональных схем лица, а именно: они раньше всех начинают догадываться о наличии эмоций; у них наблюдается тенденция проецировать собственные эмоции на воспринимаемые эмоциональные паттерны; имеет место факт общения с воспринимаемыми эмоциональными паттернами.
- 4 Различные уровни эмоциональности (Русалов, 1990) показывают значимые различия в эффективности опознания эмоциональных схем.
- 5 Различные уровни эмоциональности (Русалов, 1990) показывают значимые различия по степени нейротизма, причем изменения уровня нейротизма точно повторяют изменения уровня эмоциональности.
- 6 У различных категорий испытуемых («синтетиков» и «аналитиков») по результатам факторного анализа темпераментальные характеристики (экстраверсия, нейротизм) сцеплены с различными эмоциональными схемами. Качество выделенных факторов подтверждает использование различных способов восприятия у данных групп испытуемых.

ЛИТЕРАТУРА

- Айзенк Г. Ю. Структура личности. СПб.: Ювента. М.: КСП+, 1999.
- Артемова Н. Г. Восприятие психологических характеристик человека по «разделенному лицу»: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. М., 2003.
- Барабанищikov В. А. Динамика зрительного восприятия. М.: Наука, 1990.
- Барабанищikov В. А. Исследование восприятия эмоционального состояния человека по выражению лица // Проблемы общения в психологии. М.: Наука, 1981.
- Барабанищikov В. А. Восприятие и событие. СПб.: Алетейя, 2002.
- Барабанищikov В. А. Системность. Восприятие. Общение. М.: Изд-во Институт психологии РАН, 2004.
- Бодалев А. А. Личность и общение. М.: Педагогика, 1983.
- Бубер М. Два образа веры. М.: Республика, 1995.
- Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию. М.: Прогресс, 1988.
- Лабунская В. А. Невербальное поведение. Ростов: Изд-во Ростовского ун-та, 1986.
- Подорога В. А. Феноменология тела. М.: Ad Marginem, 1995.
- Исследование характеристик движений глаз в процессе информационного поиска в связи с проблемой кодирования зрительной информации // Эргономика: Труды ВНИИТЭ. М., 1978. Вып. 16.
- Рождественский Ю. Т. Эмоциональность как фактор надежности работы человека-оператора // Проблемы инженерной психологии. Ярославль, 1979. Вып. 3.
- Русалов В. М. Опросник структуры темперамента. М.: Изд-во ИП АН СССР, 1990.
- Журавлев А. Л. Коммуникативные качества личности руководителя и эффективность руководства коллективом // Психологический журнал. 1983. Т 4. № 1.
- Фейгенберг Е. И. Некоторые аспекты исследования невербальной коммуникации: за порогом рациональности // Психологический журнал. 1989. № 6.
- Хрисанфова Л. А. Динамика восприятия экспрессий лица: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. М., 2004.
- Belsky J. Continuity and discontinuity in infant negative and positive emotionality: Family antecedents and attachment consequences // Devel. Psychological. 1991. V. 32.
- Ekman P. Facial expressions of emotion // Annual Review of Psychology. 1979. № 20.
- Fagan J. F. Infant's recognition of invariant features of faces // Child Development. 1976. № 47.

ГЛАВА 13

ЧТО И КАК РЕГУЛИРУЕТ ПОВЕДЕНИЕ ЖИВЫХ СУЩЕСТВ

Информацию об окружающей среде организм получает с помощью системы органов чувств. Классические пять чувств – осязание, вкус, обоняние, слух и зрение с их сенсорными качествами – лишь часть огромного разнообразия чувств, развитых в царстве животных (Smith, 2000). Сенсорный мир животных весьма своеобразен. У человека доминирующим органом является зрение. Сенсорные же предпочтения других животных построены иначе, их сенсорные системы дают информацию о таких свойствах внешнего мира, о существовании которых мы не знаем ничего. Исследователи обнаружили, что живые существа имеют возможность воспринимать воздействия, специфика которых намного превосходит количество органов чувств в существующей классификации: чувствительность к инфракрасному излучению, поляризованному свету, электрическому и магнитному полям (Frisch, 1974; Blakemore, 1982; Bullock, 1982; Hsu et al., 2007). В современных исследованиях показано, что у живых существ имеются устройства, способные определять физические поля различной природы: электромагнитные, магнитные, электрические, гравитационные, а исследования по влиянию различных воздействий сверхмалых интенсивностей фиксируют диапазон работы этих устройств. Рассматривая современные данные об органах чувств живых существ различного эволюционного уровня, можно прийти к следующему предположению: если есть устройство специальной чувствительности к определенному виду воздействий, то осуществляется тонкий анализ этого сигнала, обеспечивающий включение специальной формы поведения, например, эхолокация у летучих мышей позволяет точно определять объекты внешнего

мира, магнторцепция у птиц и рыб дает возможность безошибочно находить «дорогу» в бескрайних водных и воздушных пространствах и т. д. Отсутствие же такого органа со специализированными рецепторами не означает для данного живого существа невозможность изменения поведения на действие некоего сигнала – живое существо изменяет свое поведение без ощущения действия этого сигнала, но поведенческий эффект строится не на основе ощущения от действующего агента среды, а на изменении физиологических показателей системы. Признание наличия неизвестных ранее органов чувств или же свойств организма, позволяющих откликаться на необычные внешние воздействия, открывает новый путь для понимания того, что и как регулирует поведение человека и животных.

Электрические поля в жизни живых существ. В современном мире человек окружен электрическими полями. Но он не имеет рецепторов для определения характеристик действующего электрического поля: не может определить ни его формы, ни ориентации, ни силы. Не может воспользоваться и своим собственным электрическим полем. У рыб чувствительность к электрическим полям развита чрезвычайно. Биологические функции сильных и слабых электрических разрядов весьма различаются. Сильные разряды используются для оглушения жертв, тогда как слабые разряды – для электроохлаокации при определении объектов, находящихся вблизи, для коммуникации и, возможно, обозначения границ территории. Существуют данные о том, что некоторые виды рыб способны распознавать разряды электрических органов особей собственного вида. У некоторых видов рыб электрочувствительность особенно обострена. Они способны определять поля всего в 5 нВ/см. Подтверждается предположение о том, что хрящевые рыбы используют магнитное поле Земли для навигации на дальние расстояния. Рыбы не только детектируют электрические поля, генерируемые движением в геомагнитном поле, но и электрические поля, генерируемые другими животными. Они могут воспринимать размер, форму, локализацию и электрическое сопротивление объектов, попадающих в детектируемую область. Замечательная электрочувствительность слабоэлектрических рыб и других животных достигается двумя типами рецепторов электрических полей (Smith, 2000, Bullock, 1974).

Накоплено огромное количество фактов влияния электромагнитных и прочих видов излучения на живых существ, самочувствие человека, эффективность различных видов деятельности. Например, множество данных свидетельствуют о воздействии на живое электромагнитного смога – паразитных электромагнитных полей, образующихся вокруг линий электропередачи, при мощных радио-

станциях, телецентрах и других промышленных установок. Пчелы, например, спасаются бегством, залетев случайно в сферу действия промышленного электромагнитного поля частоты 50 Гц. А у мышей и крыс, помещенных вблизи ЛЭП, отмечают изменение в составе крови. Человек тоже чувствителен к электромагнитным полям. Известно, например, что вблизи сильных магнитов быстрее проходит головная боль, насморк, снижается кровяное давление. Магнитное поле усиливает функцию щитовидной железы, да и вообще всей гормональной системы, уменьшает аллергические реакции. Влияют магнитные силовые линии и на работу мозга (Агаджанян, 2001).

Для многих воздействий у человека нет рецепторов, незаметные влияния окружающей среды приводят к значительным изменениям поведения. В качестве примера можно рассмотреть влияния солнечной активности. Интерес к этому виду воздействий возник при изучении биоритмов человека. Среди разнообразных и многочисленных биоритмов (от миллисекундных до многолетних) центральное место в жизнедеятельности человека занимают циркадианные ритмы (ритмы, обусловленные сменой дня и ночи). Биологическим регулятором изменений в организме, соответствующим этой периодике, является эпифиз, продуцирующий гормон мелатонин. Мелатонин выполняет важнейшие функции в организме человека, он не только является координатором биологических ритмов, но и одним из активных антиоксидантов и иммуномодуляторов. Так, в исследовании Раппопорта и др. показано, что у метеочувствительных пациентов, страдающих обострением заболеваний сердечно-сосудистой системы, обнаруживается изменение уровня мелатонина. В связи с этим высказано предположение о том, что нарушение деятельности эпифиза во время магнитных бурь может приводить к серьезным нарушениям деятельности организма (Раппопорт и др., 2001). Только при согласованном функционировании всех компонентов возможна эффективная реакция организма на действие переменного магнитного поля (ПемП). Многие исследователи считают, что у человека магнитоцефальной структурой является эпифиз, продуцирующий гормон мелатонин и участвующий в регуляции циркадианного ритма (Агаджанян и др., 2001; Бреус, 2006; Раппопорт и др., 2004).

«Космическая погода» являются неотъемлемой частью экологических факторов, способных воздействовать на психические функции. В исследовании Хорсевой (Хорсева, 2006) показано, что степень нарушения психофизиологических показателей и нейропсихологического статуса детей коррелирует с данными экомониторинга. Были сопоставлены данные мониторинга по психофизиологическому

здоровью детей и подростков, проживающих в Москве и Московской области, с уровнем загрязнения территории и показателей солнечной и геомагнитной активности. В периоды повышенной солнечной активности и магнитных бурь возрастает число катастроф, аварий, инцидентов и происшествий; снижаются функциональные ресурсы организма, повышается физиологическое и эмоциональное напряжение при тестовой и профессиональной физической и нервно-психической нагрузке. Показано, что в зависимости от уровня функциональных ресурсов организма гелиогеофизические факторы могут оказывать на человека угнетающее или возбуждающее (вплоть до эйфории) воздействие. Согласно новой гипотезе, сбой ритмов гелиогеомагнитной активности (ГМА) – геомагнитные возмущения – представляют собой десинхроноз типа общего адаптационного синдрома, характерного для сбоя суточных ритмов при трансконтинентальных перелетах (Бреус, 2006).

Степень специфичности реакций на магнитное поле уменьшается по мере усложнения организации биосистем. Это отчетливо видно при переходе от клеточного к более высокому уровню. Например, магниточувствительность весьма развита у бактерий (Blakemore, 1982; Mann et al., 1990). Одноклеточные простейшие парамеции не только специфически реагируют на разные по силе магнитные поля, но и различают постоянные и переменные МП (Nakaoka et al., 2002). Эффективно пользуются магниторецепцией пчелы (Hsu et al., 2007). Доказано, что магниточувствительность участвует в навигации птиц (Beason and Semm, 1996), причем она является светозависимым процессом (Wiltschko et al., 2007). За восприятие магнитного поля у птиц отвечает обонятельная ветвь тройничного нерва, в свободных нервных окончаниях кожи на верхней части клюва домашних голубей обнаружены скопления магнетитовых кристаллов, которые идентифицированы как часть предполагаемой магниторецепторной системы (Davila et al., 2005; Cordula et al., 2004).

А человек лишен специальной магниторецепторной системы, поэтому геомагнитные возмущения у него не вызывают специфических реакций, но из-за разбалансирования систем регуляции функций организма возникают функциональные нарушения (Агаджанян и др., 2001; Раппопорти др., 2004). Наиболее чувствительными к электромагнитным излучениям Солнца являются нейродинамические явления, прямо или косвенно переключающие хронобиологические процессы организма на патологический или стрессовый режим функционирования со всеми вытекающими последствиями. В настоящее время влияние геомагнитного поля Земли, зависящего от деятельности Солнца, на нервную систему человека признано

несомненным (Чижевский, 1973; Холодов и др., 1982; Бреус, 2006). Изменение уровня геомагнитной активности сопровождается у здоровых людей удлинением времени простой двигательной реакции на звуковой раздражитель, укорачивается время проведения пробы на скорость переработки зрительной информации (СПЗИ), повышается величина кожно-гальванического рефлекса, регистрируемого во время проведения пробы на СПЗИ, ухудшаются показатели внимания, кратковременной и долговременной памяти. Обнаружено сходство преобладающих частот ЭЭГ мозга человека и низкочастотных пульсаций геомагнитного поля. Эти пульсации варьируют в пределах 0,1–100 Гц, но наибольшая их амплитуда приходится на диапазон 8–16 Гц, т. е. диапазон альфа-ритма ЭЭГ человека. Увеличение активности ГМП оказывает регулирующее влияние на ЦНС, приводя к изменению физиологических процессов в направлении компенсации и снижения чувствительности к восприятию нежелательного внешнего воздействия. В зависимости от амплитуды ГМП, от функционального состояния человека и от временного фактора могут происходить активационные или тормозные физиологические процессы. Этим объясняются разнонаправленные изменения качества внимания и памяти. Сопоставление полученных результатов о более выраженном ухудшении памяти по сравнению с вниманием и результатов исследования о влиянии умственного утомления на систему восприятия и переработки информации показывает, что в обеих ситуациях «слабым местом» является нарушение операций повторения и извлечения информации из кратковременной (оперативной) памяти. В то же время неизменными остаются операции сенсорной обработки единичного стимула, т. е. объем внимания. Эти данные свидетельствуют о неспецифическом влиянии ГМП на процессы внимания и памяти. Для здоровья человека геомагнитные возмущения являются одним из природных абиотических факторов риска. Однако, несмотря на изменение характера взаимодействия, принципиально доказано возникновение реакций физиологических систем, целостного организма на магнитное поле.

Особый интерес вызывают исследования, которые выполнены на простейших живых существах – одноклеточных. Инфузории обладают морфологическими признаками клетки и изменяют поведение в ответ на воздействия внешней среды, подобно многоклеточным организмам. Показано, что они имеют множество разных «чувствительностей» – к механическим воздействиям (причем доказано, что они не только отвечают на механическое раздражение, а дифференцируют раздражаемые участки; ответы отличаются при механической стимуляции различных участков «тела»), у них

есть магнитная чувствительность, гравитационная, температурная, «вкусовая», фоточувствительность (более того, они могут различать яркость светового воздействия), химическая чувствительность и чувствительность к действию токов поляризации (Eckert et al., 1972; Guevorkian et al., 2006; Malvin, 1992; Van Houten, 2000; Armus et al., 2006; Nakaoka, 2002). Так как размеры исследованных существ чрезвычайно малы – около 100 мк, то возникает вопрос о природе такой рецепции. Может быть, рецепторов нет, есть нечто, передающее информацию о качестве сигнала в определенных кодах, а внутримолекулярные системы одноклеточного могут «прочитывать» этот код и в соответствии с ним изменять поведение?

Сверхмалые воздействия

Одно из достижений психофизики – установление закономерности между силой стимула и силой ощущения. Соотношение между интенсивностью сигналов, исходящих из внутренней и внешней среды, и силой ответов описывается психометрической кривой. Совсем другие закономерности взаимосвязи ответа и сигнала получены при влиянии **сверхмалых воздействий**; это могут быть как физические факторы в виде звука, света, радиационного излучения, магнитных полей, так и химические соединения в очень низких концентрациях (Бурлакова, 1999; Бурлакова и др., 2004). В течение последних десятилетий исследователи изучали действие слабых и сверхслабых факторов различной физической и химической природы на биологические системы различной сложности. Сверхслабые факторы – это факторы, пока не измеряемые современными экспериментальными методами, их природа и механизм действия зачастую не известны, а факт и результаты их воздействия определяются только в косвенных экспериментах по возникающему отклику объекта наблюдения. В ряде случаев результатом сверхслабых воздействий является вполне значимый макроскопический отклик биосистем (включая человека) регистрируемый в биофизическом эксперименте или медицинской статистике (Галль и др., 2006)

Характерной особенностью биологических систем любого уровня сложности является нелинейный характер ответа на возрастающий стимул самой разной природы, так называемая кривая «доза–эффект». С точки зрения классической теории биологической активности веществ, зависимость «доза–эффект» должна иметь вид кривой, монотонно возрастающей от нуля до некоторого максимума, после которого положительный эффект больше не возрастает. Однако в современных работах показано, что зависимость между параметрами воздействия и ответом может быть бимодальной:

эффект возрастает при уменьшении воздействия, затем по мере его уменьшения снижается, сменяясь мертвой зоной, где эффект от воздействия фактически не заметен, а затем при еще большем уменьшении интенсивности воздействия ответ вновь усиливается (Бурлакова и др., 2004, Терехова и др., 2003). Наличие такого соотношения между интенсивностью воздействия и ответом подтверждено многими данными, указывающими на существование нескольких максимумов активности применяемого физического или химического агента (Бурлакова, 1999). Например, показано, что в спектре частот воздействующих переменных магнитных полей выделяются «активные» и «неактивные» области (Степанюк, 2006).

При сверхмалых интенсивностях начинают проявлять себя неспецифические свойства даже обычных раздражений: например, эпифиз может служить мишенью биотропного действия естественных магнитных волн (Раппопорт и др., 2004; Темурьянц и др., 1998). Наличие магнитоцепторных свойств у палочек сетчатки позволяет предполагать, что воспринимаемые ею колебания электромагнитных полей могут оказывать влияния на продукцию мелатонина (Reiter, 1993).

Получены экспериментальные данные, согласно которым крайне слабые переменные магнитные поля с амплитудами в области микротеслового, нанотеслового и пикотеслового диапазонов оказывают существенное воздействие на свойства биологических тест-систем как животного, так и растительного происхождения. В экспериментах обнаружена перестройка ритмов головного мозга, возрастание их амплитуды, развитие десинхроноза (Темурьянца и др., 1998). Эффективность сверхслабых электромагнитных полей (ЭМП) на фоне более высоких уровней экзогенных ЭМП показана в исследованиях на сердечно-сосудистой системе, системе крови, деятельности нервной системы. При этом индукция экспериментальных ЭМП составляла 1–5 нТл, а величина геомагнитного поля варьирует от нескольких единиц до десятков и даже сотен нТл.

Биологические исследования показывают, что организмы самых различных видов – от одноклеточных до человека – чувствительны к постоянному магнитному полю и ЭМП различных частот при воздействующей энергии на десятки порядков ниже теоретически оцененной. (В психофизических исследованиях это различие между действующим постоянным ЭМП и экспериментальным получило бы название разностного порога.) Характер и выраженность биологических эффектов ЭМП зависят от параметров последних. В одних случаях эффекты максимальны при некоторых «оптимальных» интенсивностях ЭМП, в других возрастают при уменьшении ин-

тенсивности, в третьих противоположно направлены при малых и больших интенсивностях. Что касается зависимости от частот и модуляционно-временных характеристик ЭМП, то она имеет место для специфических реакций (условные рефлексy, изменения ориентации, ощущения). Все же виды нарушений регуляции процессов жизнедеятельности под действием ЭМП практически не зависят от этих параметров.

Физические агенты, способные заметно изменять состояние биологических систем при сверхнизких уровнях воздействий, представлены не только электромагнитными полями. Получены данные о высокой биологической эффективности инфранизкочастотных акустических полей. Были проведены исследования изменений инфразвуковых колебаний в атмосфере в диапазоне 0,003–0,2 Гц и в результате показано влияние инфразвука на психику человека. Предполагается, что сигнал может передаваться и бесконтактным биофизическим воздействием посредством ЭМП, причем как в оптическом, так и в радиочастотном диапазоне (Бурлаков, 2000, Фролов, 2000). Эксперименты убедительно показывают, что переход к сверхвысоким разведениям БАВ может сопровождаться повышением эффективности его действия (Воробьева, 2000; Воронина и др., 2002; Тушмалова, 1995).

Влияние сверхмалых доз биологически активных веществ на электрическую активность нервных клеток

Поведение живых существ может регулироваться сверхмалыми количествами БАВ и физических факторов, в основе поведенческих изменений лежит влияние на функциональные возможности элементов ЦНС (Греченко и др., 2003; Терехова и др., 2003). Эти предположения были проверены в опытах на нейронах моллюска *Helix lucorum*. В опытах производили регистрацию электрической активности отдельных нервных клеток на полуинтактном препарате или полностью изолированном нейроне наземного моллюска *Helix lucorum*. Выделенные нейроны помещали в экспериментальную камеру с постоянным протоком физиологического раствора. Биологически активные вещества растворяли в физиологическом растворе и доводили до нужной концентрации при помощи постепенного разведения (от 10^{-3} моль/л, уменьшая на каждой ступени концентрацию в 100 раз) и одновременного встряхивания (20 с). Вещество в соответствующей концентрации однократно вводили в проток физиологического раствора в количестве 0,35 мл.

В опытах применяли следующие БАВ, хорошо известные своим действием в функциональных концентрациях: синтетические

антиоксиданты двух видов – антиоксидант АО1 и АО2; нейромедиаторы – ацетилхолин (АХ), гаммааминомасляную кислоту (ГАМК) и серотонин; противоопухолевый антибиотик Ruboxyl; пептиды – ноотропный дипептид ГВС-111, и эндогенный нонапептид ДСИП (дельта-сон, индуцирующий пептид); этанол, препарат панавир. Все апробированные вещества были эффективны в сверхмалых дозах (10^{-17} М– 10^{-28} М) (Терехова, Греченко). После однократного добавления вещества в камеру, содержащую изолированные нейроны или полуинтактный препарат, электрическая активность исследуемых клеток изменялась (рисунок 1а, б).

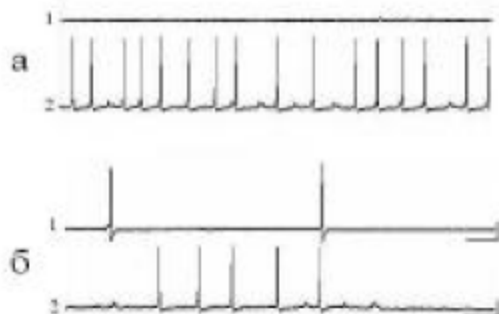


Рис.1. Влияние ацетилхолина в концентрации 10-21М на электрическую активность двух одновременно регистрируемых нейронов улитки. А – исходная электрическая активность (1 – нейрон висцерального ганглия, 2 – левого париетального ганглия); б – активность этих клеток через 5 мин после добавления физраствора с АХ 10-21 М. Обозначения прежние. Калибровка: 10 мВ, 1 с

Показано, что направления изменения активности нейронов могут быть противоположными, особенно четко это показано в опытах с одновременной регистрацией двух клеток. Опыты на изолированных клетках показали, что электровозбудимые и хемочувствительные мембраны и эндонейрональная активность изменяются при действии БАВ в сверхмалых дозах независимо друг от друга: если пейсмекерная активность интенсифицируется, то это не означает повышения чувствительности хемовозбудимых мембран, но могут быть и однонаправленные изменения (рисунок 2а, б).

Эксперименты со сверхмалыми дозами (СМД) биологически активных веществ (БАВ) на изолированных нейронах и нейронах полуинтактного препарата (системный уровень) моллюска привели к выводу о существовании особого пути действия сигналов,

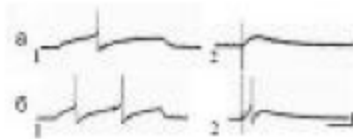


Рис. 2. Влияние панавира в концентрации 10-19М на электрическую активность изолированного нейрона. А – исходная активность на прямое действие внутриклеточного электрического тока силой 0,7 нА, длительностью 3 с (1) и на микрофорез ацетилхолина (АХ), б – через 10 мин после действия панавира в концентрации 10-19М. Калибровка: 10 мВ, 1 с

передаваемых посредством БАВ в СМД. Анализ динамики развития изменений нейронных ответов приводит к выводу о том, что нервные клетки не только «чувствуют» различные вещества, но и различают их. Это выражено специфичностью действия различных БАВ. Специфичность действия БАВ на электрическую активность нейронов выражена следующими параметрами: скоростью появления ответа, динамикой выхода на максимум, длительностью реакции, возможностью отмывки нейрона нормальным физиологическим раствором. Рассмотренные по перечисленным показателям реакции показывают, что они специфичны для каждого из веществ. (Экспериментальные процедуры, связанные с добавлением БАВ, идентичны во всех опытах.)

Закономерно предположить, что БАВ в сверхмалых дозах являются носителями неспецифического компонента, который осуществляет организацию информационного канала, и специфического компонента, составляющего информационное содержание. В результате действия БАВ реализуются индивидуальные способы перестройки нейронной активности, переводящие клетку в новое функциональное состояние. Это было продемонстрировано в опытах по обучению нейрона.

В опытах на было показано, что *Paramecium caudatum* обнаруживает изменение химического состава окружающей среды при добавлении 0,35 мл физраствора, содержащего этанол в концентрации 10^{-21} М и отвечают изменением электрической активности (рисунок 3б).

Роль воды в передаче информации

Существует много гипотез, касающихся конкретной физической, физико-химической и биологической интерпретации взаимодействия физических полей и физических факторов различной природы сверхмалых интенсивностей с живыми существами (Бурлакова

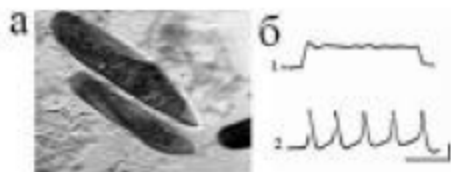


Рис. 3. Влияние этанола в концентрации 10-21М на электрическую активность *Paramecium caudatum*. А – парамеции в водной среде, б – электрофизиологическая активность, зарегистрированная внутриклеточным микроэлектродом на раздражение деполяризационным током силой 0,7 нА, длительность 3 с: 1 – исходный, 2 – через 2 мин после добавления этанола 10-21 М. Калибровка: 10 мВ, 1 с

и др., 2004). Многие исследователи предполагают, что важнейшую роль в рецепции и передаче информации о действующем агенте выполняет водная среда, которая может легко изменять свои свойства. В ряде опытов на различных объектах (планарии, растворы протеинов) установлена передача эффектов действия слабых магнитных полей через предварительно обработанные магнитными полями водносолевые растворы, что указывает на важную роль водной среды в механизмах реализации биологического действия слабых магнитных полей. В экспериментах, проведенных на нейронах моллюска, показано влияние изменения структуры воды и различных биологически активных веществ на их электрическую активность.

Обработка воды в слабом (10^{-4} Тл) низкочастотном поле (4 и 8 Гц) вызывает изменение ее биологической активности. Чтобы доказать это предположение, были выполнены опыты на нейронах полуинтактного препарата или же на полностью изолированных нейронах моллюска *Helix lucorum*. Подробно методика приготовления изолированных нейронов описана в ранее опубликованных работах. Существенно то, что в опытах применяли два вида физиологических растворов совершенно одинакового химического состава, сделанных на дистиллированной воде из одного и того же источника, но один из растворов готовился на воде, подвергшейся электромагнитной обработке. Дистиллированную воду в стеклянном сосуде в количестве 200 мл помещали в центр соленоида и подвергали воздействию в течение 10 мин. Структурные модификации изучались методом ИК-Фурье-спектроскопии по изменению полос поглощения в области $4000-1000\text{ см}^{-1}$. Анализ спектральных данных показал, что обработка воды электромагнитным полем приводит к увеличению интенсивности полосы поглощения валентных колебаний ОН связи на 10% (при обработке на частоте 4 Гц) (вода 1)

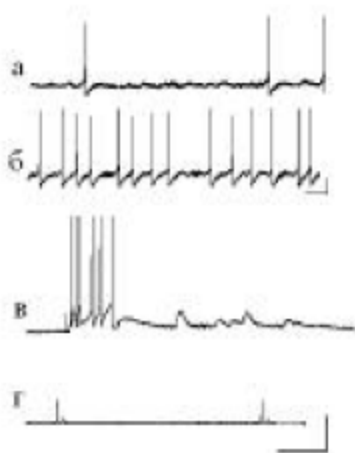


Рис. 4. Влияние переструктурированного физиологического раствора на электрическую активность нейрона, зарегистрированного от полуинтактного препарата моллюска. а, б – положительное влияние: а – исходная электрическая активность; б – электрическая активность через 3 мин после замещения физиологического раствора переструктурированным. Калибровка: 15 мВ, 500 мс; в, г – влияние воды с отрицательной биологической активностью на нейрональные ответы идентифицированного нейрона Лпа³: в – исходная электрическая активность нейрона и ответ на тактильный стимул, предъявленный на участок мантии, г – через 5 мин после добавления структурированного физраствора МП нейрона упал до 5 мВ, ответы исчезли. Калибровка: 10 мВ. 1 с

и на 2% (при обработке на частоте 8 Гц) (вода 2). Предполагается, что обработка электромагнитным полем приводит к формированию аквакомплексов, изменяющих структуру каркаса воды.

На обработанной воде готовился физиологический раствор, который затем использовался в опытах. На полуинтактном препарате добавление в физраствор 1 мл «нового» физраствора (приготовленного на обработанной воде) вызывало изменение частоты генерации потенциалов действия (ПД), частоты и амплитуды постсинаптических потенциалов (ПСП), изменение синаптического притока к нейрону, увеличение ответа на тактильный стимул или подавление фоновой электрической активности при изменении ответа на периферический стимул (рисунок 4а, б). Один из режимов обработки воды приводил к таким изменениям ее структурных комплексов, которые вызывали гибель большей части находящихся в опыте клеток (рисунок 4в, г). Из представленных на рисунке 4 примеров видно, что можно получить воду, обладающую разнонаправленными биологическими свойствами. Биологически активная вода (физраствор, приготовленный на такой дистиллированной воде) изменяет эффективность взаимодействия между нейронами и влияет на эндонейрональную активность (рисунок 5а-в). На представленных нейрограммах под влиянием структурированного раствора проис-

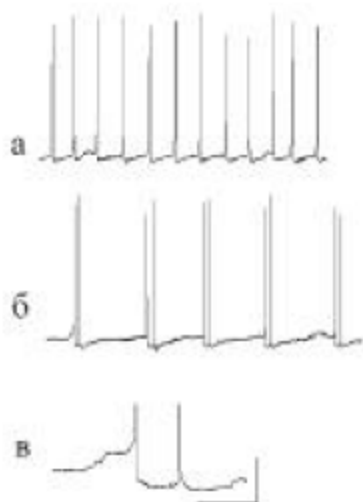


Рис. 5. Изменение электрической активности нейрона после добавления структурированной воды. А – исходная активность; б – через 10 мин после добавления структурированного раствора. В – микроструктура электрической активности – подключение новых нейронов в системе. Калибровка: 10 мВ, 1 с (для а, б), 5 мВ, 500 мс (для в)

ходит изменение паттерна «системного» нейрона, показана фоновая электрическая активность нейрона, зарегистрированного из правого париеального ганглия. Видно, что изменение структуры активности связано с подключением дополнительных синаптических каналов, каждый из которых запускает ПД, различающиеся порогами генерации (рисунок 5в). Результаты опытов показали, что добавление физраствора, приготовленного из структурированной воды 1, в количестве 0,35 мл в ванночку с препаратом, влияет на пейсмекерную активность изолированных нейронов и их локальную чувствительность к нейромедиатору ацетилхолину (АХ) (рисунок 6а-г). Максимальное электрофизиологическое проявление от применения «нового» физраствора при его однократном добавлении в нормальный физраствор на изолированных нейронах достигается через 20–40 с, сохраняется в течение 10–20 мин. Через 15–40 мин после включения протока нормального физраствора восстанавливается исходная электрическая активность. Кроме положительной и отрицательной по биологическому эффекту воды, была обнаружена и инертная вода, способ обработки, по-видимому, оказался неэффективным, никаких изменений электрической активности нейронов при замене нормального физраствора не наблюдали.

Так как химический состав физраствора был одинаковым во всех случаях, то результаты электрофизиологических экспериментов позволяют предположить, что нейрон идентифицирует один из видов обработанной воды как «новизну» и отвечает перестройкой своей активности на неспецифическое внешнее воздействие. По-видимому, «новизна» связана с изменением упорядоченности структуры

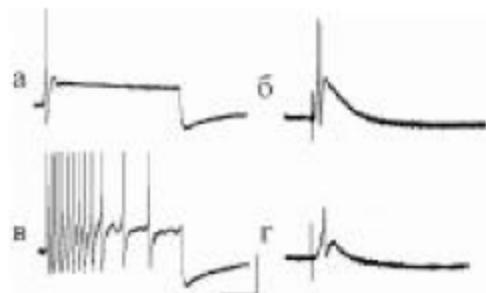


Рис. 6. Влияние структурированной воды на электрическую активность изолированного нейрона, инициированную разными мембранными образованиями: а – ответ на внутриклеточный стимул силой 1,2 нА длительностью 3 с, б – ответ на микрофорез нейромедиатора ацетилхолина (АХ), в-г – ответы на прежние воздействия через 7 мин после замены раствора. Калибровка: 10 мВ, 1 с

воды. Следовательно, в данном случае нейроны получают от воды информацию об изменении окружающей среды и соответственно перестраивают биологическую активность.

Многие авторы объясняют наблюдаемые закономерности с точки зрения представлений о влиянии сверхмалых доз физических факторов и химических веществ на структурные характеристики воды. При исследовании этой проблемы возникло несколько разных идей о конкретном механизме, но главное заключается в том, что средством передачи информации о присутствии определенного воздействия и о его свойствах становится вода (Бурлакова, 1999; Бурлакова и др., 2004; Лобышев, 2000; Воейков, 2006).

Возвращаясь к вопросу о том, что и как регулирует поведение, на основании рассмотренных фактов можно сделать следующее предположение: информация о воздействиях может быть передана, по меньшей мере, двумя способами – специфическим и неспецифическим. Первый работает, если есть специальные сенсорные системы и интенсивность сигналов достаточна для их обнаружения. Второй реализуется при отсутствии специальных систем детектирования и при сверхмалых интенсивностях воздействий. Так как живые организмы являются высокоорганизованными воднобелковыми системами, то любое изменение структуры воды как во внутренней, так и во внешней среде будет сигналом для соответствующих внутриорганизменных преобразований, результатом которых является изменение поведения. В заключение хочется процитировать Антуана де Сент-Экзюпери: «Вода! Ты не просто необходима для жизни, ты и есть сама жизнь».

ЛИТЕРАТУРА

- Агаджанян Н. А., Ораевский В. Н., Макарова И. И., Канониди Х. Д. Медико-биологические эффекты геомагнитных возмущений. М.: Тривант, 2001.
- Бреус Т. К. Роль ритмов солнечной активности в формировании эндогенной временной структуры биологических объектов // Сборник тезисов IV Международного Конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». СПб., 2006.
- Бурлаков А. Б., Бурлакова О. В., Голиченков В. А. Дистантные волновые взаимодействия в раннем эмбриогенезе вьюна *Misgurnus fossilis* L // Онтогенез. 2000. Т. 31. Вып. 5.
- Бурлакова Е. Б. Особенности действия сверхмалых доз биологически активных веществ и физических факторов низкой интенсивности // Российский химический журнал. 1999. Т. 58. Вып. 5.
- Бурлакова Е. Б., Конрадов А. А., Мальцева Е. Л. Сверхслабые воздействия химических соединений и физических факторов на биологические системы // Биофизика. 2004. Т. 49. Вып. 3.
- Воейков В. Л. Фундаментальная роль воды в биоэнергетике // Избранные Труды IV Международного Конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». СПб., 2006.
- Воробьева Т. М. Ориентировочная реакция на изменения внутренней среды – один из механизмов влияния субминимальных доз фармакопрепаратов // VII Российский национальный конгресс «Человек и лекарство», симпозиум «Сверхмалые дозы психотропных средств». М., 2000.
- Воронина Т. А., Молодавкин Г. М., Чернявская Л. И., Серединин С. Б., Бурлакова Е. Б. Сверхмалые дозы феназепам: влияние на биоэлектрическую активность мозга крыс и их поведение в различных моделях тревоги // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2002. Приложение 4.
- Галль Л. Н., Дроздов А. В., Галль Н. Р. Слабые и сверхслабые воздействия на биологические системы – новое направление в науке // Сборник тезисов IV Международного Конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». СПб., 2006.
- Греченко Т. Н., Горбунов А. М. Структура воды влияет на электрическую активность нейронов моллюска // Материалы III съезда биофизиков России. Воронеж, 2004.
- Греченко Т. Н., Мартинес-Солер Р., Шехтер Е. Д. Неспецифическое воздействие экзогенного ацетилхолина на электрическую активность нейронов виноградной улитки // Биол. науки (Докл. высш. школы). 1981. Вып. 5.
- Греченко Т. Н., Терехова С. Ф. Пейсмекеры и функциональные состояния // Психология: современные направления междисциплинарных исследований / Ред. А. Г. Журавлева и Н. С. Тарабриной. М.: Изд-во ИПРАН, 2003.

- Лобьшиев В. И. Вода как первичная мишень для слабых воздействий в биологических системах // Тезисы II междунар. конгр. «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». СПб., 2000. С. 99.
- Пальмина Н. П., Кледова Л. В., Панкова Т. В., Гаинцева В. Д. К вопросу о «рецепторном» механизме действия биологически активных веществ в сверхнизких концентрациях // Радиационная биология. Радиоэкология. 2003. Т. 43. Вып. 3.
- Мелатонин в норме и патологии / Ред. Ф. И. Комаров, С. И. Раппопорт, Н. К. Малиновская. ИД: Медпрактика-М, 2004.
- Степанюк И. А. Электромагнитные поля крайне низких частот как важнейший экологический фактор // Сборник тезисов IV Международного Конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». СПб., 2006.
- Темурьянц Н. А., Шехоткин А. В., Насилевич В. А. Магниточувствительность эпифиза (обзор) // Биофизика. 1998. Т. 43. Вып. 5.
- Терехова С. Ф., Греченко Т. Н. Регуляция функционального состояния нейрона сверхмалыми дозами различных биологически активных веществ // Радиационная биология. Радиоэкология. 2003. Т. 43. Вып. 3.
- Тушмалова Н. А., Прагина Л. Л., Иноземцев А. Н., Гумаргалиева К. З., Соловьев А. Г., Бурлакова Е. Б. Влияние малых доз пираретама на условнорефлекторную память крыс // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1995. Т. 7. С. 124.
- Фролов Ю. П. Неконтактное действие бензоидных соединений на биологические системы. Самара: Изд. Самарского ун-та, 2000.
- Холодов Ю. А., Козлов А. Н., Горбач А. М. Магнитные поля биологических объектов. М.: Наука, 1987.
- Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1973.
- Armus HL, Montgomery AR, Gurney RL. Discrimination learning and extinction in paramecia (*P. caudatum*) // Psychol. Rep. 2006. V. 98. (3):705–11.
- Blakemore R. P. 'Magnetotactic bacteria' // Annual Review of Microbiology. 1982. V. 36. P. 217–238.
- Bullock T. H. 'General Introduction', in Handbook of Sensory Physiology / ed. Fessard vol. H1/3, E. Berlin: Springer-Verlag, 1974
- Cordula V. Mora, Michael Davidson, Martin Wild and Michael M. Walker. Magneto reception and its tragedian mediation in the homing pigeon // Nature. 2004. V. 432. P. 508.
- Davila A. F, Winkhofer M., Shcherbakov V. P, Petersen N. Magnetic pulse affects a putative magnetoreceptor mechanism // Biophys J. 2005. V. 89 (1): P. 56.
- Eckert R., Naitoh Y. and Friedman K. Sensory mechanisms in Paramecium. I. Two components of the electric response to mechanical stimulation of the anterior surface // J. exp. Biol. 1972. V. 56. P. 683.
- Frisch K. Decoding the language of the bees // Science. 1974. V. 185. P. 663.

- Guevorkian K., Valles J. M. Jr.* Aligning *Paramecium caudatum* with static magnetic fields // *Biophys J.* 2006. V. 90 (8). P. 3004.
- Hsu C. Y., Ko F. Y., Li C. W., Fann K., Lue J. T.* Magnetoreception System in Honeybees (*Apis mellifera*) // *PLoS ONE.* 2007. V. 2. P. 395.
- Mitarai A., Nakaoka Y.* Photosensitive signal transduction induces membrane hyperpolarization in *Paramecium bursaria* // *Photochem. Photobiol.* 2005. V. 81 (6). P. 1424.
- Malvin G. M., Wood S. C.* Behavioral hypothermia and survival of hypoxic protozoans *Paramecium caudatum* // *Science.* 1992. V. 255 (5050). P. 1423.
- Nakaoka Y., Takeda R., Shimizu K.* Orientation of paramecium swimming in a DC magnetic field // *Bioelectromagnetics.* 2002. V. 23 (8). P. 607.
- Reiter R. J.* Static and extremely low frequency electromagnetic field exposure – reported effects on the circadian production of melatonin // *Journal of Cellular Biochemistry.* 1993. V. 51. P. 394.
- Smith K. U. M.* Biology of sensory system. John Wiley & Sons. Ltd, 2000.
- Van Houten J. L., Yang W. Q., Bergeron A.* Chemosensory signal transduction in paramecium // *J. Nutr.* 2000. 130 (4S Suppl). P. 946.
- Wiltschko R., Stapput K., Bischof H. J., Wiltschko W.* Light-dependent magnetoreception in birds: increasing intensity of monochromatic light changes the nature of the response // *Front Zool.* 2007. V. 4 (1). P. 5.

ГЛАВА 14

СИСТЕМНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ СИЛЫ ОЩУЩЕНИЙ

Развитие науки в современный период характеризуется двумя наиболее существенными тенденциями: с одной стороны, стремительно нарастающей дифференциацией, а с другой стороны, резко возросшей взаимосвязью отдельных наук и отраслей знаний, т. е. интеграцией. Обе эти тенденции характерны и для психологии, хотя в ней интеграционные процессы значительно отстают от дифференционных. Огромный фактический материал, накопленный в экспериментальной психологии и психофизиологии, в общей, детской и возрастной психологии, представляет собой весьма пеструю мозаичную картину. Однако при более внимательном анализе можно обнаружить, что на самом деле некоторые системы фактов и закономерностей, полученные независимо друг от друга в рамках разных теоретических подходов и даже разнесенные по разным рубрикам психологических классификаций, опубликованные в разных специальных журналах, объективно гораздо более близки друг другу, чем кажется на первый взгляд. Можно обнаружить, что результаты многих разных исследований могут быть объединены в некоторые крупные системные блоки фактов, понятий и закономерностей и что между, казалось бы, совсем разными блоками такого рода также можно установить внутренние глубинные взаимосвязи. Некоторые фактические результаты такой теоретической работы уже получены (Чуприкова, 2007).

В настоящей статье обсуждается возможность системной интеграции нескольких групп фактов, центром которых является проблема природы индивидуальных различий в психофизическом шкалировании силы ощущений.

В современной психофизике в результате многих экспериментальных исследований достигнуто согласие относительно того,

что в качестве математического выражения основного психофизического закона следует принимать степенную функцию С. Стивенса, а не логарифмическую Г. Фехнера. Вместе с тем выяснено, при каких условиях последняя также может иметь место. Психофизика С. Стивенса основывается на применении прямых методов оценки силы ощущений. Этими методами установлено семейство степенных функций для стимулов разных сенсорных модальностей, начиная с наиболее круто нарастающих болевых ощущений (показатель степени $n = 3,5$) и кончая самыми пологими функциями для тональных звуков ($n = 0,67$), яркости точечных источников света $n = 0,5$) и световых пятен ($n = 0,33$).

Однако по мере все более широкого применения прямых методов оценки силы ощущений стали обнаруживаться значительные индивидуальные различия по степени крутизны/пологости субъективных психофизических шкал. Это обстоятельство было, в частности, одним из серьезных аргументов критики методологии С. Стивенса со стороны французской школы психологов (Пьерон, 1966), но именно оно стимулировало исследования, направленные на выяснение причин и механизмов, обуславливающих разную индивидуальную силу ощущений.

Индивидуальная вариабельность психофизических шкал действительно весьма велика. Так, показатели степенной функции для громкости звуков варьирует от 0,40 до 1,1; для силы сжатия руки – от 1,30 до 3,48; для поднимаемого веса – от 1,26 до 1,75; для ощущения соленого – от 1,11 до 1,97 и т.д. (Ekman et al., 1967).

Вопрос о причинах и природе вариативности результатов, наблюдаемых при шкалировании ощущений, стал предметом специальных исследований.

Было показано, что больший или меньший рост силы ощущений – не чистый артефакт, не случайность, а является достаточно устойчивой индивидуальной характеристикой, распространяющейся на ощущения разных модальностей. В наиболее полных исследованиях обнаружались значимые коэффициенты корреляций (0,290–0,756) между показателями степенных функций для ощущений пяти и шести разных модальностей (Ekman et al., 1965, 1967, 1974; Reason, 1972).

Обсуждая вопрос о возможных причинах межмодальной устойчивости индивидуальных характеристик крутизны/пологости субъективных психофизических шкал, большинство авторов, в том числе и сам С. Стивенс, указывали на возможность двух ее основных источников – как проявления различных концепций числовой оценки и как выражения подлинных различий в силе ощущений. Это было отчасти подтверждено в исследованиях Г. Экмана с соавт., в которых

на основании факторизации матрицы интеркорреляций индивидуальных показателей степенных функций разных модальностей были выделены два основных лежащих в их основе фактора. Первый фактор авторы назвали *фактором числовой оценки*, а второй – *перцептивным*. По С. Стивенсу, индивидуальные различия психофизических шкал могут отражать различные оперативные характеристики сенсорных систем (Stevens, 1971). При этом он прямо отмечал, что, например, показатель степени для громкости у одного испытуемого 0,4 может означать замедленную скорость усиления громкости по сравнению с показателем функции 1,1 у другого испытуемого.

В этой связи следующим закономерным шагом исследований стал поиск связи между индивидуально различной крутизной/пологостью психофизических шкал и тенденцией людей либо усиливать, либо ослаблять воспринимаемую стимуляцию. Имеется в виду известная теория двух типов людей – «увеличителях» и «уменьшителях», развитая в работах А. Петри и М. Бухсбаума (Petrie et al., 1960; Buchsbaum, 1976; Buchsbaum, Prefferbaum, 1971; Buchsbaum, Silverman, 1968; Silverman et al., 1969).

В исследованиях А. Петри «уменьшители» характеризовались хорошей переносимостью боли и недооценкой кинестетической стимуляции. «Увеличители», наоборот, плохо переносили боль и переоценивали силу кинестетической стимуляции. Было сделано заключение, что «уменьшение» представляет собой адаптивный защитный механизм для противостояния сенсорной перегрузке, т. е. что существует некоторый механизм центральной нервной системы, который регулирует сенсорный вход.

В исследованиях М. Бухсбаума разделение людей на «увеличителей» и «уменьшителей» было проведено на основании различий в росте амплитуд вызванных потенциалов (ВП) при увеличении уровня стимуляции. Оказалось, что амплитуда ВП на электрокожные и световые стимулы у одних испытуемых возрастает с увеличением стимуляции («увеличители»), а у других либо не меняется, либо даже уменьшается («уменьшители»). Особенно значительные различия наблюдались при восприятии больших интенсивностей. Сопоставление показателей ВП на электрокожную стимуляцию с показателями переносимости боли, по А. Петри, выявило их достаточно хорошее совпадение. Как и предполагалось, индивиды с незначительным ростом (или уменьшением) амплитуды ВП при росте стимуляции оказались хорошо переносящими боль, а индивиды с большим ростом амплитуд ВП – не переносящими ее. Обнаружено также, что «уменьшители» являются более устойчивыми к шуму. Наконец, было проведено (на группе в 20 человек) сопоставление роста

амплитуд ВП при усилении стимуляции и абсолютных зрительных, слуховых и температурных порогов чувствительности. Оказалось, что группа «чувствительных» мужчин характеризовалась заметным снижением амплитуд ВП на стимулы возрастающей интенсивности, а группа «нечувствительных» мужчин – их заметным ростом. У женщин эта тенденция тоже имела место, но была менее выражена.

Если А. Петри рассматривала тенденцию к уменьшению сенсорной стимуляции как действующую на всех уровнях интенсивности, то, по мысли М. Бухсбаума, такое уменьшение, являясь своего рода «фильтром», должно предохранять нервную систему от чрезмерного возбуждения и иметь место у некоторых индивидов именно в области достаточно высоких интенсивностей стимуляции.

Представление М. Бухсбаума о «фильтре», предохраняющем нервную систему от чрезмерного возбуждения, близко к представлению И. П. Павлова о запредельном торможении, которое должно быть сильнее выражено у индивидов со слабой нервной системой. Поэтому закономерным шагом в изучении проблемы стало принятое рядом авторов включение павловского представления о силе/слабости нервной системы в систему исследований природы индивидуальных различий в крутизне/пологости психофизических шкал. В связи с этим в арсенал исследований было введено измерение времени реакций (ВР) на звуковые стимулы возрастающей интенсивности, так как в школе Б. М. Теплова–В. Д. Небылицына степень укорочения ВР при усилении стимуляции рассматривалась как референтный показатель силы нервной системы. У «сильных» испытуемых при усилении стимуляции ВР сокращается более значительно, чем у «слабых». У последних функция падения ВР имеет более пологий характер (Небылицын, 1966).

В исследованиях Дж. Ризона (Reason, 1968, 1972) сопоставлялись индивидуальные показатели следующих функций:

- показатели степенной функции в шести сенсорных континуумах: громкости, яркости, угловой скорости зрительной цели, веса, зрительно воспринимаемой площади и длины;
- показатель усиления эффекта спирального последствия (иллюзии движения после прекращения реального движения спирали) при увеличении длительности предшествующей стимуляции;
- чувствительность к укачиванию в транспорте;
- ВР на звуковые стимулы возрастающей интенсивности.

Между всеми показателями обнаружались значимые взаимосвязи. Так, коэффициент ранговой корреляции между наклоном функ-

ции громкости и наклоном прямой ВР на звуковые стимулы составил величину 0,45. Коэффициенты корреляции между наклоном функции громкости, функции роста спирального последствия и чувствительности к укачиванию в транспорте располагались в двух исследованиях на 40 и 36 испытуемых в пределах от 0,30 до 0,55. Хорошее соответствие обнаружилось между показателями всех психометрических функций, кроме одной. В целом лица, чувствительные к укачиванию в транспорте, характеризовались более крутыми наклонами функции спирального последствия в зависимости от продолжительности стимуляции, более крутыми психофизическими функциями оценки громкости звуков и силы стимулов других модальностей (яркости, угловой скорости движения зрительной цели, веса, площади, длины), более крутым падением ВР на звуки возрастающей интенсивности. Для лиц, не чувствительных к укачиванию в транспорте, был характерен более пологий рост всех названных показателей.

Дж. Ризон назвал индивидов первой группы рецептивными, а индивидов второй группы – нерцептивными, имея в виду присущие им индивидуальные различия в кодировании интенсивности сенсорных сигналов. Вместе с тем он пришел к выводу, что выделенные им группы испытуемых соответствуют группам «увеличителей» и «уменьшителей» в классификации А. Петри и М. Бухсбаума, а также группам лиц с сильной и слабой нервной системой (по Б. М. Теплову). С его точки зрения, во всех трех типологиях речь должна идти об индивидуальных различиях одной и той же общей характеристики нервной системы, одного и того же ее общего свойства, которое определяет различия центральной обработки стимульной информации. Это свойство Дж. Ризон предложил называть рецептивностью. Однако его конкретное содержание оставалось не раскрытым.

В исследовании С. Сейлса и У. Трупа (Sales, Throop, 1972) наклон прямой ВР на звуковые стимулы возрастающей интенсивности сопоставлялся с показателями нарастания субъективной громкости в том же диапазоне стимулов и с порогом слуховой абсолютной чувствительности. Оказалось, что, хотя выбранные показатели коррелировали довольно слабо, все же эти корреляции находились в соответствии с гипотезой авторов, что во всех трех случаях речь должна идти о свойстве силы/слабости нервной системы. Так, коэффициент корреляции между наклоном прямой ВР и степенью роста субъективной громкости составил 0,25 ($p < 0,05$), для наклона прямой ВР и порога – 0,214 ($p < 0,10$), для степени нарастания субъективной громкости и порога – 0,290 ($p < 0,05$).

Направление, начатое Дж. Ризоном, С. Сейлсом и У. Трупом, связанное с введением понятия силы/слабости нервной системы в контекст природы индивидуальных различий в степени крутизны/пологости психофизических шкал, было продолжено в многолетних исследованиях Т.А. Ратановой (Ратанова, 1990, 2008). Их теоретическая новизна состояла в предложенном новом понимании природы свойства силы/слабости нервной системы, диагностируемого по показателю степени изменения величины ВР на стимулы возрастающей интенсивности. Обосновывался взгляд, что эта методика диагностирует силу нервной системы в прямом смысле этого слова как ее способность развивать большее или меньшее по силе возбуждение, следуя за усилением стимуляции (Чуприкова, 1976). Наличие такого свойства было обнаружено Дж. Ризоном. Но не раскрыв его конкретного физиологического содержания, он назвал его неудачным с точки зрения этого содержания термином «рецептивность». Но если на место неудачного термина «рецептивность» поставить способность нервной системы усиливать возбуждение, следуя за усилением стимуляции, то все выявленные Дж. Ризоном соответствия разных функций и показателей сразу получают ясное основание.

Большая или меньшая крутизна/пологость субъективных психофизических шкал, большее или меньшее падение ВР на стимулы возрастающей интенсивности, большее или меньшее влияние вестибулярной стимуляции на укачивание в транспорте, большая или меньшая зависимость величины спирального последствия от длительности стимуляции – все это может быть понято как закономерное проявление одного и того же свойства нервной системы – ее большей или меньшей способности усиливать возбуждение, следуя за усилением стимуляции.

Проявление того же свойства можно увидеть в ряде других фактов, которые никогда раньше не рассматривались в связи с фактами индивидуальных различий в росте силы ощущений, которые, как кажется, принадлежат совсем другим областям науки, но которые все вместе явно образуют одну большую непротиворечивую систему. Мы имеем в виду следующие факты (Чуприкова, Ратанова, 1983):

- данные В. Н. Небылицына (Небылицын, 1966) о том, что для сильной нервной системы характерна малая выраженность реакций на слабые сигналы и значительный их прирост по мере усиления раздражителей. В отличие от этого слабая нервная система характеризуется более выраженными реакциями в зоне слабых раздражителей и небольшим приростом эффекта при их усилении. Это было продемонст-

рировано при изучении критической частоты мелькающего фосфена, реакции навязывания ритмов в ЭЭГ и ВР;

- приводимые Б. М. Тепловым (Теплов, 1956) данные, полученные А. А. Андреевым в лаборатории И. П. Павлова. А. А. Андреев вырабатывал у двух собак условные рефлексы на звуки пяти интенсивностей – от едва слышного до очень громкого, но еще не вызывающего ощущение боли. У одной собаки соответствующие величины условного слюноотделения составили 0, 9, 33, 37 и 48 капель, а у другой – 0, 5, 7, 27 и 27 капель;
- данные Г. Е. Кавецкого с соавт. (Кавецкий и др., 1961) о большей выраженности компенсаторных и восстановительных реакций организма у собак с сильной уравновешенной нервной системой по сравнению с собаками слабого типа;
- данные А. М. Монаенкова (Монаенков, 1970) о различиях в скорости подхода лошадей разных типов высшей нервной деятельности к кормушке по условному сигналу. Животные сильного уравновешенного типа обычно подходили к кормушке быстрым шагом, иногда рысью со скоростью 1,5–2,0 м/с. Возбудимые лошади подбегали к кормушке рысью или галопом со скоростью от 1,7 до 3,5 м/с, а лошади слабого типа шли осторожным шагом со скоростью около 1 м/с;
- данные О. А. Сиротина (Сиротин, 1973), полученные при сопоставлении эмоциональной устойчивости борцов высших категорий, участников европейских и международных встреч, с показателями ВР на звуки возрастающей интенсивности. Оказалось, что эмоционально устойчивые являются более «сильными» по показателю степени наклона прямой ВР, а эмоционально неустойчивые – более «слабыми». Однако, как показал анализ, статистически значимые различия между этими группами имели место только для ВР на звуки 100 и 120 дБ (более короткие ВР у эмоционально устойчивых), и только ВР на эти два звука значимо коррелировали с эмоциональной устойчивостью (Чуприкова, 1976);
- данные М. А. Плачинты (Плачинта, 1978), полученные в нашей лаборатории при сопоставлении силы нервной системы по показателю степени наклона кривой ВР на звуки возрастающей интенсивности и уровня выделения адреналина и норадреналина при максимальных физических нагрузках. У испытуемых (мужчин) с сильной нервной системой экскреция адреналина и норадреналина прогрессивно возрастала

с увеличением нагрузки, достигая максимума при работе до отказа, и намного превосходила этот уровень у лиц со слабой нервной системой. У последних повышение экскреции катехоламинов имело место только при самой слабой нагрузке и при нагрузке $\frac{1}{2}$ от максимальной. При дальнейшем росте нагрузки концентрация обоих гормонов снижалась у них до нормы и даже становилась меньше нормы. При этом максимальные величины выделения адреналина и норадреналина в этой группе лиц намного уступали максимальным величинам у лиц с сильным типом нервной системы;

- данные Н. К. Волкова (Волков, 1976) о большей величине предстартового возбуждения у лиц с сильной нервной системой по показателю степени падения ВР на звуки возрастающей интенсивности, чем у лиц со слабой.

Исследование Т. А. Ратановой было направлено на дальнейшее обоснование положения, что в основе индивидуальных различий в крутизне/пологости психофизических шкал должна лежать большая или меньшая способность нервной системы к усилению возбуждения при усилении стимуляции. Поэтому исследование имело комплексный системный характер. Степень роста силы ощущений сопоставлялась не только с укорочением ВР на стимулы возрастающей интенсивности, но и с ростом других объективных показателей, который также мог свидетельствовать о разной способности нервной системы к усилению возбуждения. Специально анализировались абсолютные величины всех показателей в области слабых и сильных сигналов, измерялись абсолютные и различительные пороги чувствительности, а также эмоциональная оценка применяемых раздражителей.

Исследование проведено применительно к слуховой модальности ощущений. На одних и тех же испытуемых (восемь выборок взрослых в количестве 246 человек и две выборки детей в количестве 61 человека) проводилось сопоставление физиологических реакций (ВР, КГР, ВП) при действии звуковой стимуляции в диапазоне от 40 до 120 дБ от уровня 0,0002 бара, а также от уровня абсолютного индивидуального порога, начиная с 20 до 100 дБ.

В качестве референтного показателя силы нервной системы, принятого в школе Б. М. Теплова–В. Д. Небылицына, служила степень укорочения времени простой двигательной реакции (ВР) на звуки возрастающей интенсивности: большее укорочение ВР у «сильных» и меньшее у «слабых» испытуемых.

Субъективными показателями являлись индивидуальные оценки громкости звуков, которые были получены в форме:

- числовой (балльной) оценки по отношению к эталону в 80 дБ, которому был приписан балл 10;
- кроссmodalного выражения громкости звуков в мышечном усилии и в длине проводимых на бумаге линий;
- эмоциональной оценки звуков разной громкости (звуки безразличные, приятные, слегка неприятные, определенно неприятные, болезненно невыносимые).

Степень роста силы возбуждения оценивалась по производным показателям:

$$\frac{BP\ 40\ дБ}{BP\ 120\ дБ}; \frac{KGP\ 120\ дБ}{KGP\ 40\ дБ}; \frac{BP\ 120\ дБ}{BP\ 40\ дБ}.$$

Степень роста силы ощущений при усилении громкости звуков оценивалась отношением максимальной балльной оценки звука 120 дБ к минимальной балльной оценке звука 40 дБ ($\frac{\text{Балл } 120\ дБ}{\text{Балл } 40\ дБ}$).

Когда BP и субъективные оценки брались от индивидуального слухового порога, то для оценки роста возбуждения и силы ощущений использовались показатели $\frac{BP\ 20\ дБ}{BP\ 100\ дБ}$ и $\frac{\text{Балл } 100\ дБ}{\text{Балл } 20\ дБ}$.

В систему использованных показателей были включены также величины абсолютных слуховых порогов, полученные методом минимальных изменений, и величины различительной громкостной чувствительности (d'), полученные методом вынужденного выбора.

По всем использованным показателям (прямым и производным) на звуковые стимулы, взятыми как от стандартного, так и от индивидуального слухового порога, обнаружены большие индивидуальные различия и много значимых корреляций между объективными и субъективными показателями (Ратанова, 1990, 2008).

В целом установлено, что лица с более сильной нервной системой по показателю степени падения BP на стимулы возрастающей интенсивности имеют более крутые психофизические шкалы громкости и характеризуются большим ростом амплитуды KGP и BP на стимулы возрастающей интенсивности, чем лица со слабой нервной системой. Субъективная оценка громкости интенсивных звуков 100 и 120 дБ, абсолютные значения KGP и BP на эти звуки выше у лиц с сильной нервной системой, а значения BP на эти звуки у них короче, чем у «слабых». В то же время в диапазоне звуков от 40 до 80 дБ все отношения оказываются обратными: испытуемые со слабой нервной системой здесь превосходят «сильных». Они слышат эти звуки как более громкие, дают на них более короткие BP и большие по амплитуде KGP и BP.

Таблица 1
 ВР (мс), КГР (см), амплитуды ВП (мкВ),
 СУБЪЕКТИВНЫЕ ОЦЕНКИ ГРОМКОСТИ И ВЕЛИЧИНЫ ПРИРОСТА ВСЕХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
 У ДВУХ ГРУПП ИСПЫТУЕМЫХ

Группа испытуемых	Показатели	Средние величины показателей на звуки разной громкости (дБ)					Прирост
		40	60	80	100	120	
«Сильные»	ВР	237	197	172	153	141	1,68
	Амплитуда КГР	1,06	1,16	1,20	1,42	2,09	2,16
	Числовая оценка	1,69	4,36	8,95	22,23	44,62	37,77
	Выражение субъективной громкости в длине линий (см)	2,30	4,69	7,03	10,15	16,79	12,89
	Выражение субъективной громкости в динамометрическом мышечном усилии (кг)	4,36	8,68	13,50	19,64	34,30	9,74
	30	40	60	80	100		
	ВП (без субъективной оценки)	21,6	23,6	28,0	31,5	32,3	1,5
ВП (с субъективной оценкой)	14,0	19,4	23,7	39,4	40,3	2,88	
«Слабые»	ВР	205	182	168	156	146	1,41
	Амплитуда КГР	1,41	1,44	1,47	1,38	1,85	1,42
	Числовая оценка	1,92	4,94	9,42	18,33	36,87	22,05
	Выражение субъективной громкости в длине линий (см)	2,46	5,40	7,28	10,79	17,05	11,45
	Выражение субъективной громкости в динамометрическом мышечном усилии (кг)	6,01	1,97	14,91	21,59	33,33	8,27
	30	40	60	80	100		
	ВП (без субъективной оценки)	20,07	25,6	24,4	18,9	26,0	1,27
ВП (с субъективной оценкой)	16,9	21,7	22,2	33,7	30,5	1,80	

Для иллюстрации полученных закономерностей в таблице 1 представлены данные одной из выборок взрослых испытуемых.

Приведенное в таблице 1 разделение испытуемых на группы с сильной и слабой нервной системой производилось, как и во всех других случаях, на основе величины отношения $\frac{BP\ 40\ дБ}{BP\ 120\ дБ}$. Испытуемые, у которых это отношение было больше медианы, относились к группе «сильных», а те, у которых оно было меньше медианы, – к группе «слабых».

Во всех выборках испытуемых неизменно обнаруживались значимые обратные корреляции между отношениями $\frac{BP\ 40\ дБ}{BP\ 120\ дБ}$ и $\frac{Балл\ 40\ дБ}{Балл\ 120\ дБ}$, когда интенсивность звуков бралась от стандартного уровня 0,0002 бара, и отношениями $\frac{BP\ 20\ дБ}{BP\ 100\ дБ}$ и $\frac{Балл\ 100\ дБ}{Балл\ 20\ дБ}$, когда она бралась от индивидуального порога. Эти корреляции иногда были не очень велики (-0,298, -0,236), а иногда значительно выше (-0,80, -0,79, -0,77, -0,85). Полученные корреляции с несомненностью указывают на то, что в обоих случаях речь должна идти об одном и том же свойстве нервной системы – ее способности к большему или меньшему усилению возбуждения при усилении стимуляции.

Автор двигательной методики В.Д. Небылицын был склонен думать, что если интенсивность сигналов при измерении ВР брать от индивидуального порога, то различия по силе нервной системы должны нивелироваться. Он связывал различия по силе нервной системы с различиями по ее чувствительности и главное диагностическое значение придавал ВР на слабые звуки. Действительно, как видно из таблицы 1 и как показывают все другие данные Т.А. Ратановой, у «слабых» испытуемых ВР на слабые сигналы короче, чем у «сильных», а КГР и ВП, наоборот, больше по своей величине. Однако можно показать, что бóльшая возбудимость и бóльшая чувствительность нервной системы не являются единственным фактором, полностью определяющим индивидуальную степень роста нервного возбуждения при усилении стимуляции. Дело в том, что если уравнивать испытуемых по ВР на самый слабый сигнал 40 дБ или начинать отсчет интенсивности звуков от индивидуального порога, различия в степени укорочения ВР и в крутизне/пологости субъективных шкал громкости все равно полностью сохраняются. Данные, полученные при уравнивании испытуемых одной из выборок по величине ВР на звук 40 дБ приведены в таблице 2, которая составлена следующим образом.

Испытуемые в количестве 36 человек были разделены на три группы по величине их ВР на звук 40 дБ: с минимальной величиной

ВР (от 200 до 225 мс), со средней величиной ВР (от 226 до 289 мс) и с максимальной величиной ВР (от 290 до 445 мс). Затем каждая группа была разделена на две – с большим и меньшим приростом ВР на звуки возрастающей интенсивности. Деление производилось по медиане отношения $\frac{\text{ВР } 40 \text{ дБ}}{\text{ВР } 120 \text{ дБ}}$.

Таблица 2

Средние показатели ВР и балльных оценок громкости у двух групп испытуемых с разной силой нервной системы, уравниваемых по исходному ВР на звук 40 дБ

Группа испытуемых	Исходное ВР на звук 40 дБ	Среднее ВР на звук		Отношение ВР 40 дБ / ВР 120 дБ	Субъективная оценка		Прирост субъективной громкости от 40 до 120 дБ
		40 дБ	120 дБ		40 дБ	120 дБ	
«Сильные»	220–225	216	122	1,77	1,36	49,33	36,3 раза
«Слабые»		209	139	1,51	1,96	30,29	15,4 раза
«Сильные»	226–489	261	137	1,91	1,36	44,10	32,4 раза
«Слабые»		249	150	1,67	1,48	31,43	21,2 раза
«Сильные»	290–445	330	147	2,24	1,46	47,17	32,3 раза
«Слабые»		340	186	1,83	1,45	27,82	19,2 раза

Из таблицы 2 видно, что при всех величинах исходного ВР на звук 40 дБ имеются лица с большим или меньшим его укорочением при возрастании интенсивности звука и что наибольший прирост субъективной громкости всегда имеет место у испытуемых с большим укорочением ВР. Это свидетельствует о закономерных индивидуальных различиях в нарастании силы возбуждения при усилении стимуляции независимо от его исходного уровня, определяемого по ВР на звук 40 дБ. Вместе с тем из таблицы 2 видно, что полностью уравнивать всех испытуемых по величине ВР на звук 40 дБ не удалось. Во всех группах у «слабых» все же осталась тенденция к более коротким ВР, чем у «сильных». В дальнейшем мы отметим также тенденцию «слабых» к более высокой слуховой абсолютной чувствительности, чем у «сильных».

Второй важный результат, свидетельствующий об относительной независимости способности нервной системы усиливать возбуждение при усилении стимуляции от порога слуховой абсолютной чувствительности, был получен в эксперименте, в котором интенсивность звуков отмерялась в децибельной шкале от индивидуального слухового абсолютного порога каждого испытуемого и составляла 20, 40, 60, 80 и 100 дБ над индивидуальным порогом.

Выборка испытуемых из 30 человек была разделена на три группы в зависимости от их абсолютной слуховой чувствительности. Испытуемые первой группы имели самую высокую чувствительность (от 0,15 до 0,25 условных единиц), второй – среднюю (от 0,3 до 0,45 условных единиц), третий – самую низкую (от 0,5 до 0,7 условных единиц). Несмотря на столь большие различия абсолютной слуховой чувствительности среднегрупповые показатели отношения $\frac{BP\ 20\ дБ}{BP\ 100\ дБ}$ оказались во всех группах одинаковыми: 1,60, 1,61, 1,67, а в каждой группе имелись лица и с более, и с менее выраженным укорочением BP при усилении стимуляции. Этот результат позволил провести групповой анализ различий субъективной оценки громкости у лиц с более значительным и менее значительным укорочением BP независимо от величины абсолютного слухового порога. Как и следовало ожидать, первые характеризовались значительно более крутыми шкалами субъективной громкости, чем вторые.

Хотя приведенные результаты свидетельствуют о независимости индивидуальных различий роста силы нервного возбуждения при усилении звуковой стимуляции от уровня абсолютной слуховой чувствительности, все же эта независимость не является абсолютной. В группе лиц с сильной нервной системой абсолютная слуховая чувствительность в среднем оказалась ниже (0,41 условных единиц), чем у «слабых» (0,34 условные единицы), хотя эта разница не достигала статистической значимости. Вместе с тем получены два не очень больших, но значимых коэффициента корреляции между абсолютной слуховой чувствительностью и степенью роста силы возбуждения при усилении стимуляции. Коэффициент корреляции между значениями абсолютных слуховых порогов и ростом силы нервного возбуждения для показателя BP составил 0,205, а для показателя роста силы ощущения – 0,325. Оба эти значения близки к тем (0,214 и 0,290), которые были получены М. Сейлсом и У. Трупом (Sales, Throop, 1972).

В целом рассмотренные результаты позволяют сделать вывод о двух факторах индивидуально разного роста силы возбуждения и ощущений при усилении сенсорной стимуляции. Первый из них постулировался в школе Б. М. Теплова–В. Д. Небылицына и связан с сенсорной чувствительностью индивида: чем выше чувствительность, тем меньше прирост силы возбуждения и ощущений в зоне сильных сигналов. Но этот фактор имеет меньшее значение, чем второй, который выявлен в исследовании Т. А. Ратановой и с чувствительностью не связан. Он имеет самостоятельное происхождение. Есть люди с высокой абсолютной чувствительностью и крутым ростом силы возбуждения (по показателю BP) и ощущений, как и люди

с низкой абсолютной чувствительностью, малым ростом ВР и пологими шкалами субъективной громкости. В этой связи большое значение имеют результаты эксперимента, в котором было показано, что рост балльных оценок субъективной громкости от порога до звука 20 дБ у лиц с более сильным возбуждением в диапазоне более сильных звуков также происходит более круто, чем у лиц с более пологими функциями изменения ВР и субъективных оценок. Эти данные в совокупности со всеми остальными позволяют заключить, что во всем диапазоне возрастающих интенсивностей сигнала, начиная от порога и кончая самыми сильными звуками, сила нервного возбуждения и сила ощущений у одних людей нарастают более значительно и круто, чем у других.

Полученные в исследовании Т. А. Ратановой факты позволяют провести очень важное в теоретическом отношении разделение двух разных аспектов индивидуальных особенностей реагирования на стимулы разной интенсивности, которые до сих пор обычно не разводились. С одной стороны, индивидуально различной является степень роста нервного возбуждения и силы ощущений при усилении стимуляции. С другой стороны, это индивидуальные различия в абсолютных величинах возбуждения (по показателям величин ВР, КГР, ВП) и силы ощущений (по показателям балльных и кроссmodalных оценок интенсивности стимуляции) при разной интенсивности стимуляции. Во всех выборках испытуемых без исключения наблюдалась одна и та же закономерность, которая продемонстрирована в таблице 1. Если у лиц с более крутым ростом силы возбуждения и ощущений при усилении стимуляции все их абсолютные показатели в области сильных сигналов (звуки 100 и 120 дБ) являются более высокими, чем у лиц с более пологим ростом силы возбуждения и ощущений, то для области слабых сигналов (звуки 40, 60 и 80 дБ) отношения являются обратными. Здесь, наоборот, более высокие абсолютные показатели силы возбуждения и ощущений характерны для лиц с более пологим ростом силы возбуждения и ощущений. Эта закономерность схематически представлена на рисунке 1.

В рамки указанной закономерности хорошо вписываются данные об индивидуальных различиях слуховой различительной чувствительности. Они свидетельствуют о лучшей различительной чувствительности в области слабых сигналов у лиц с более пологими функциями роста возбуждения и ощущений, чем у лиц противоположной группы, но о лучшей различительной чувствительности последних в области высокой интенсивности звуков. У большинства испытуемых (примерно у 70%) выявилась обратная зависимость

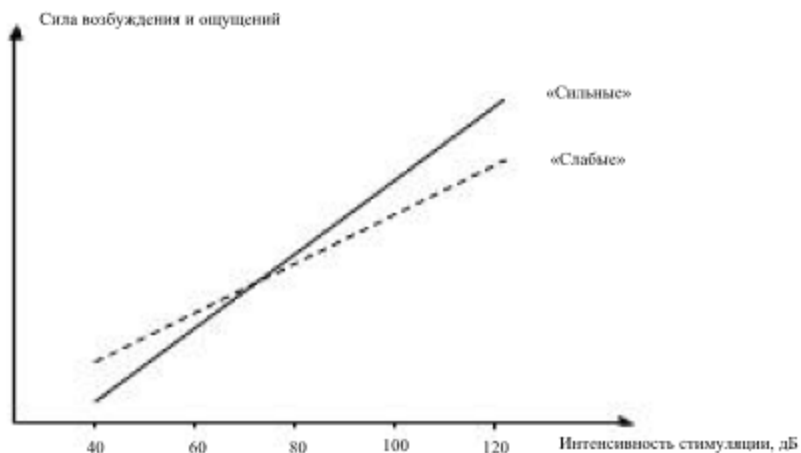


Рис. 1. Рост силы возбуждения и силы ощущений у лиц с сильной и слабой нервной системой

между различительной чувствительностью в области слабых (40 дБ) и в области сильных звуков (120 дБ).

Значительные индивидуальные различия выявились в эмоциональной оценке звука 120 дБ в двух группах испытуемых, различающихся ростом возбуждения на звуки возрастающей интенсивности, ростом силы ощущений и балльной оценкой силы данного звука. Средний балл оценки громкости звука 120 дБ у 17 человек, которые характеризовались более крутым ростом силы возбуждения и ощущений, составил 55,20. У противоположной группы из 16 человек он был равен 41,31. Из 17 человек первой группы один человек оценил этот звук как неприятный, восемь – как очень неприятный, пять – как болезненный и три – как невыносимый. Во второй группе три человека оценили этот звук как неприятный, двенадцать – как очень неприятный и только один – как болезненный. Таким образом, видно, что верхний болевой порог слуховых ощущений в целом несколько ниже (а болевая чувствительность выше) у лиц с более сильными ощущениями в области сильных звуков и с более крутым их ростом при усилении стимуляции.

Полученные результаты можно сопоставить с данными Дж. Худа, который изучал связь нижнего и верхнего порогов слуховой чувствительности (Hood, 1968). Он определял интенсивность звука, который при усилении стимуляции впервые воспринимался как неприятно громкий у трех групп испытуемых: с высокой, средней и низкой абсолютной слуховой чувствительностью. Оказалось, что в первой группе (низкие абсолютные пороги) средняя величина этого

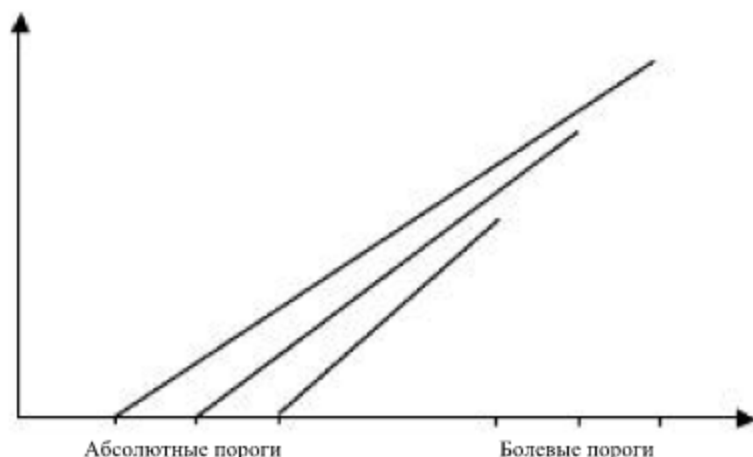


Рис. 2. Зависимость между значениями абсолютных и болевых слуховых порогов по данным Дж. Худа

звука составила 104,25 дБ, во второй – 97,5 дБ, в третьей – 90,75 дБ. Полученные Дж. Худом результаты представлены в схематической графической форме на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что лица с более низкими болевыми пороговыми значениями должны характеризоваться более крутым ростом силы слуховых ощущений от абсолютного до болевого порога, а у лиц с более высокими болевыми пороговыми значениями, т. е. с более низкой болевой чувствительностью при сильной стимуляции, сила ощущений при усилении стимуляции должна нарастать более медленно и полого.

Таким образом, полученные Т. А. Ратановой и Дж. Худом результаты явно входят в единую систему фактов, включающую разделение людей на «увеличителей» и «уменьшителей» в классификации А. Петри и М. Бухсбаума.

Наконец, отметим, что найденные у взрослых испытуемых закономерные сопряженные отношения между степенью укорочения ВР на звуковые стимулы возрастающей интенсивности и степенью крутизны/пологости психофизических шкал громкости оказались в полной мере характерными также для детей 8–10 лет и старших подростков (Ратанова, 1990, 2008).

Параметры степенной психофизической функции, устанавливаемые методами прямого психофизического шкалирования, зависят не только от модальности сенсорного раздражителя и от индивидуальных особенностей испытуемых. Крутизна психофизических функций, измеряемая показателем степени в формуле С. Стивенса, изменяется при варьировании процедуры эксперимента. Это извест-

ные эффекты, связанные с шириной диапазона стимулов, с их количеством и с последовательностью, с положением стандартного стимула, с информационной значимостью тех или иных сигналов.

Есть все основания думать, что причиной этих подчас значительных эффектов являются перестройки в протекании сенсорно-перцептивных процессов в зависимости от задач и условий деятельности наблюдателя. Задача психофизического шкалирования стимулов требует достаточно высокой внутренней активности субъекта (удержание в памяти эталонного стимула, сравнение с ним текущей стимуляции, вынесение оценочного суждения), а степень, состав, механизмы этой активности в разных условиях могут быть разными. Но глубинные внутренние перестройки протекания сенсорно-перцептивных процессов при разных условиях шкалирования стимулов не могут быть выявлены психофизическими методами, которые позволяют судить лишь о конечных результатах шкалирования. Однако новые большие возможности открываются при объединении этих методов с методом прямой регистрации мозговой активности, вызванной сенсорной стимуляцией в проекционной и других областях мозга при разных условиях восприятия и шкалирования стимулов.

Один из экспериментов в данном направлении был осуществлен в нашей лаборатории А. В. Лысенко (неопубликованные данные).

Регистрировались вызванные потенциалы мозга (ВП) на звуковые стимулы длительностью 200 мс и интенсивностью 30, 40, 60, 80 и 100 дБ в области вертекса и в лобной области левого полушария. ВП записывались при двух разных видах деятельности в отношении звуковых стимулов: 1) при счете звуков; 2) при шкалировании их субъективной громкости методом прямой оценки величины ощущения. Эталонном служил звук интенсивностью 40 дБ, которому экспериментатор приписывал балл 10. От испытуемых требовалось оценить в баллах громкость других звуков.

Звуки каждой интенсивности предъявлялись пачками по 30 сигналов и соответствующие ВП усреднялись. Для обработки была выбрана амплитуда наибольшего по величине и наиболее стабильного компонента слухового ВП (фаза N_1P_2 по схеме Дэвиса).

Полученные данные для двух групп испытуемых, различающихся степенью роста амплитуды данного компонента ВП и степенью роста субъективных оценок громкости звуков при усилении звуковой стимуляции, приведены в таблице 1. Из нее видно, что рост величины колебания N_1P_2 слуховых ВП у всех испытуемых заметно больше при шкалировании громкости звуков, чем при их счете. Это означает, что при шкалировании громкости по сравнению со счетом звуков происходит расширение диапазона нервной активности,

вызываемой континуумом звуковых сигналов интенсивностью от 30 до 100 дБ. При шкалировании громкости по сравнению со счетом звуков амплитуда колебания N_1P_2 на слабые звуки уменьшается, а на сильные увеличивается. Эти изменения ВП в задаче шкалирования более ярко выражены в области вертекса, ВП в которой считаются отражением процессов, возникающих при действии звуков в слуховой проекционной области. Именно эти данные приведены в таблице 1. Таким образом, задача шкалирования громкости существенно изменяет по сравнению с простым восприятием звуков при их счете диапазон нервной активности, вызываемой звуками в проекционной слуховой области коры, но также и в ее левой лобной области. Эти изменения таковы, что различия в уровне нервной активности, вызываемой звуками разной интенсивности, становятся более выраженными, более контрастными, что должно делать более выраженными различия в их субъективной громкости.

Надо полагать, что в разных условиях шкалирования стимулов перестройки в протекании вызываемых ими сенсорно-перцептивных процессов могут быть существенно различными. Различными могут быть и индивидуальные стратегии оценки громкости звуков. Поэтому регистрация и анализ параметров ВП мозга или каких-либо других мозговых показателей в этих разных условиях могут пролить свет на глубинные причины известных эффектов, выявленных на психофизическом уровне изучения вариативности параметров основного психофизического закона.

В настоящее время исследования по проблемам психофизики все больше концентрируются на раскрытии сложных внутренних процессов, которые лежат между стимулом и сенсорно-перцептивным ответом на него и которые обуславливают изменчивость количественных отношений между объективным воздействием и его отражением в психике. Эта тенденция сейчас доминирует в исследовании пороговой проблемы, где ситуация обнаружения слабых сигналов и слабых различий между ними рассматривается как ситуация решения сенсорных задач со всеми вытекающими отсюда последствиями в планировании и осуществлении экспериментов и в анализе получаемых данных. Применительно к области основного психофизического закона эта тенденция тоже звучит, но пока еще не получила такого развития, как в области пороговой проблемы. Приведенная в настоящей статье система фактов подводит к необходимости обратиться к внутренним психологическим и физиологическим процессам, которые опосредствуют формирование ощущений разной силы и их вербально-числовую или кроссmodalную оценку.

Заключение

Проблематика основного психофизического закона и шкалирования силы ощущений часто рассматривается как некая достаточно частная область психологической науки, далекая как от ее глобальных теоретико-методологических проблем, так и от таких ее «увлекательных» разделов, как мотивация, личность, стресс и т. п. Между тем материалы настоящей статьи свидетельствуют о том, что это совсем не так, что очень многие психологические проблемы и вопросы имеют к данной кажущейся очень «частной» и не очень «увлекательной» проблеме самое непосредственное отношение.

В теоретическом плане поиск закона, вскрывающего зависимость силы ощущений от силы вызывающих их воздействий неразрывно связан с постановкой самых глубинных методологических и теоретических вопросов психологической науки. Г. Фехнер считал, что ощущение не доступно прямому измерению, и искал для этой цели косвенную, но надежную меру, которая не зависела бы от интроспекции, а С. Стивенс полагал, что прямое субъективное измерение ощущений возможно. А. Пьерон и некоторые другие авторы отнеслись весьма скептически к надежности предложенных С. Стивенсом прямых методов измерения силы ощущений. Обсуждая сложившееся положение вещей, Дж. Сомьен (Сомьен, 1975) приходит к выводу, что в принципе нет доказательств того, что испытуемые действительно ощущают то, о чем в методах С. Стивенса они сообщают в своих численных или кроссмодалных оценках. По его мнению, возможен только один удовлетворительный способ получить истинную меру субъективного переживания: установить физический механизм в мозгу, соответствующий силе ощущения, и измерить его физическими приборами. Но как узнать, что физический прибор будет измерять именно тот механизм, который соответствует силе ощущения, а не что-либо другое? Представляется, что, по крайней мере, у человека, без обращения к его субъективным переживаниям все же никак не обойтись. Поэтому наиболее плодотворным на этом пути представляется решение фундаментальной задачи, поставленной И. П. Павловым, – задачи «наложения и слития» психологического и физиологического, субъективного и объективного. Исследования, описанные в настоящей статье, хотя и далеки от решения этой задачи, свидетельствуют о реальности ее постановки и принципиальной возможности решения. Вместе с тем сегодня ясно (и это отчасти подтверждается фактами второго раздела статьи), что сила ощущений у человека (как и величины абсолютных и различительных порогов) не является прямой и непосредственной функцией интенсивности сигналов. В экспериментах с человеком всегда имеет место решение

сенсорных задач и включение его вербальной системы. Поэтому в данном отношении проблематика основного психофизического закона вписывается в широкую проблематику, по терминологии И. П. Павлова, взаимодействия первой и второй сигнальных систем, в проблематику второсигнального словесно-понятийного управления афферентациями (Бойко, 2002; Чуприкова, 1967, 2005).

Наконец, материалы настоящей статьи показывают, что индивидуально различная способность нервной системы усиливать возбуждение, следуя за усилением стимуляции, имеет очень широкий аспект личностно-поведенческих проявлений. Люди с разной выраженностью этой способности не только имеют разные по силе ощущения и характеризуются разной степенью их роста, но по-разному реагируют на боль и на стресс, на укачивание в транспорте и на посторонние шумы, на сенсорную депривацию, отличаются разной степенью эмоциональной устойчивости. Картина становится еще более системной, если учесть данные, полученные на животных, о больших индивидуальных различиях адаптивных компенсаторных и восстановительных реакций организма, о различиях двигательного поведения в зависимости от способности нервной системы к усилению возбуждения при усилении стимуляции. Например, показательны результаты исследования, проведенного на кошках (Buchsbaum, Silverman, 1968). Авторы регистрировали у кошек ВП на световые стимулы четырех интенсивностей и сопоставляли полученные результаты с поведением подопытных животных. Оказалось, что увеличение амплитуды наибольшего позитивно-негативного колебания ВП при усилении стимуляции обнаружили те животные, которые отличались хорошо выраженным ориентировочным поведением, общей активностью, агрессивностью и не чрезмерно сильными оборонительными реакциями при пропускании тока через пол клетки. Животные, ВП которых мало увеличивались или даже уменьшались с усилением стимуляции, отличались противоположными чертами поведения.

Можно считать, что свойство нервной системы в большей или меньшей степени усиливать возбуждение, следуя за усилением стимуляции, является единым глубинным основанием многих психологических и поведенческих проявлений, глубинным основанием их единой системы.

ЛИТЕРАТУРА

- Бойко Е. И. Механизмы умственной деятельности. М.: Моск. психолого-соц. ин-т; Воронеж: НПО «МОДЭК», 2002.
- Волков Н. К. Динамика предстартового эмоционального состояния у борцов и методика его регуляции: Автореф. ... дис. канд. психол. наук. М., 1976.

- Кавецкий Р. Е.* и др. Реактивность организма и тип нервной системы. Киев: Изд-во АН УССР, 1961.
- Монаенков А. М.* Иммунологическая реактивность и тип нервной системы. М.: Медицина, 1970.
- Небылицын В. Д.* Основные свойства нервной системы человека. М.: Просвещение, 1966.
- Пьерон А.* Психофизика // Экспериментальная психология. Вып. I, II / Ред.-сост. П. Фресс, Ж. Пиаже. М.: Прогресс, 1966. С. 241–313.
- Плачинта М. А.* Гидрокортизон, катехоламины и артериальное давление при физической нагрузке // Физиол. человека. 1978. Т. 4. № 2. С. 46–52.
- Ратанова Т. А.* Субъективное шкалирование и объективные физиологические реакции организма. М.: Педагогика, 1990.
- Ратанова Т. А.* Психофизическое шкалирование: сила ощущений, сила нервной системы, чувствительность. М.: Моск. психолого-соц. ин-т; Воронеж: НПО «МОДЭК», 2008.
- Сиротин О. А.* К вопросу о психофизиологической природе эмоциональной устойчивости // Вопр. психол. 1973. № 1. С. 129–133.
- Сомьен Дж.* Кодирование сенсорной информации. М.: Мир, 1975.
- Теплов Б. М.* Некоторые вопросы изучения общих типов высшей нервной деятельности // Типологические особенности высшей нервной деятельности человека и животных / Под ред. Б. М. Теплова. Т. I. М.: Изд-во АПН РСФСР, 1956. С. 5–123.
- Чуприкова Н. И.* Слово как фактор управления в высшей нервной деятельности человека. М.: Просвещение, 1967.
- Чуприкова Н. И.* Об уточнении физиологического смысла и стандартизации двигательной методики В. Д. Небылицына по определению силы нервной системы // Психофизиологические вопросы становления профессионала / Под ред. К. М. Гуревича. М.: Сов. Россия, 1976. Вып. 2. С. 181–207.
- Чуприкова Н. И.* Психофизиологическая проблема и разработка теории мозговой организации высших психических процессов человека в трудах Е. И. Бойко и его школы // Вопр. психол. 2005. № 2. С. 68–83.
- Чуприкова Н. И.* Из опыта интеграции психологических знаний // Теория и методология психологии / Под ред. А. Л. Журавлева, А. В. Юревича. М.: Изд-во ИП РАН, 2007.
- Чуприкова Н. И., Ратанова Т. А.* Величина ощущений, объективные реакции организма на стимулы возрастающей интенсивности и сила нервной системы // Психол. журн. 1983. Т. 4. № 6. С. 39–47.
- Buchzman M.* Self-regulation of stimulus intensity: Augmenting/reducing and the average evoked response // Consciousness and self-regulation advance in research. N. Y.; L., 1976. V. XXII. N 1. P. 101–135.
- Buchzman M., Silverman J.* Stimulus intensity control and the cortical evoked response // Psychosom. Med. 1968. V. 30. P. 12–22.

- Buchsman M., Prefferbaum A.* Individual differences in stimulus intensity response // *Psychophysiology*. 1971. V. 8. N 5. P. 600–611.
- Ekman G., Hosman J., Lindström B.* Roughness, smoothness and preference: A study of quanta tiff relations in individual subjects // *J. Exp. Psychol.* 1965. V. 70. N 1. P. 18–25.
- Ekman G. et al.* Interindividual differences in scaling performance // *Reports Psychol. Lab. Univ. Stockholm*. 1967. N 241.
- Ekman G. et al.* Individual differences in magnitude estimation behavior // *Brit. J. Psychol.* 1974. V. 65. Pt. 1. P. 85–91.
- Hood J. D.* Observation upon the relationship of loudness discomfort level and auditory fatigue to sound pressure level and sensation level // *J. Aconst. Soc. Amer.* 1968. V. 44. N 4. P. 959–964.
- Petrie A., Collins W., Solomon P.* The tolerance for pain and for sensory deprivation // *J. Am. Psychol.* 1960. V. 73. P. 80–90.
- Reason J. T.* Relation between motion sickness susceptibility, the spiral after-effect and loudness estimation // *Brit. J. Psychol.* 1968. Pt. 4. P. 385–393.
- Reason J. T.* Some correlates of the loudness function // *J. Sound and Vibration*. 1972. V. 20. N 3. P. 305–309.
- Sales S. M., Throop W. E.* Relationship between kinesthetic after-effects and “Strength of nervous system” // *Psychophysiology*. 1972. V. 9. N 5. P. 492–497.
- Silverman J., Buchsbaum M., Henkin R.* Stimulus sensitivity and stimulus intensity control // *Pers. and Motiv. Skills*. 1969. V. 28. N 1. P. 71–78.
- Stevens S. S.* Issues in psychophysical measurement // *Psychol. Rev.* 1971. V. 78. N 5. P. 426–450.

ГЛАВА 15

ЛОКАЛЬНЫЙ И ГЛОБАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ В ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Рассмотрим два подхода к исследованию восприятия изображений зрительной системой: 1) определение глобальных статистических свойств изображений; 2) выделение локальных информативных признаков высшего порядка. Эти подходы описывают два различных механизма, которые могут быть задействованы для распознавания изображений объектов. Проблема состоит в том, при решении каких задач какой из этих подходов доминирует. Работу этих механизмов рассмотрим на примере распознавания неполных изображений.

Систематическое изучение алгоритмов восприятия неполных изображений объектов было начато создателями гештальт-психологии. Интенсивные исследования последних лет в данной области обусловлены потребностями развития методов цифровой обработки и восстановления изображений (Бондарко и др., 1999; Мирошников, 1987; Цуккерман, 1978; Шелепин и др. 1998; Ghosh, Petkov, 2005a, 2005b). Исследование механизмов и алгоритмов реконструкции целостного объекта из фрагментированного является многообещающим прежде всего в решении проблемы распознавания зрительных образов (Мирошников, 1987; Hess, Field, 1999, 2003; Field, 1987, 1994, 1997, 2004; Ghosh, Petkov, 2005a, 2005b; Marr, 1982; Olshausen, Field, 1996, 1997, 2004a, 2004b; Ullman, 1989). Наш подход построен на основе представлений о выделении сигнала из шума и модели согласованной фильтрации (Красильников, Шелепин, 1996, 1997; Chikhman et al., 1998, 2001a, 2001b, 2006; Shelepin et al. 1989, 2000, 2004; Tsukkerman, Shelepin, 1993).

Психофизические и нейрофизиологические исследования как локального, так и глобального анализа в зрительной системе могут

Работа поддержана РФФИ (гранты 06-07-89137 и 09-07-00336) и РГНФ (грант 06-06-00252).

быть разделены на две группы: изучение пространственных механизмов связывания и изучение временных процессов, взаимодействия между нейронами, в результате которых происходит связывание фрагментов в единое целое, в гештальт (Каменкович, Шевелев, 2006; Подвигин и др. 2005; Шевелев и др. 2000, 2003; Шелепин, 2001; Biederman, 1987, 1991; De Winter, Wagemans, 2004; Field, 1987, 2004; Fries et al. 2002; Giersch et al. 2000; Gollin, 1960; Gruber et al. 2002; Hess, Field, 1994, 2003; Kanizsa, 1979; Kelman, Spelke, 1983; Mathes, Fahle, 2007; May, Hess 2007; Murray, Szymczyk, 1978; Olshausen, Field, 1996; Singh, Fulvio, 2007; Snodgrass, Hirschman, 1994; Spitz, Borland, 1971; Tversky et al., 2004).

Решение проблемы связывания фрагментов в единое целое позволит ответить на важнейшие вопросы: какие оптические свойства изображения являются информативными, как осуществляется переход от оптического описания изображений к их представлению в зрительной системе, как зрительная система распознает целостный объект при наблюдении его фрагментов, как зрительная система выделяет физические свойства фрагментов, какие нейрофизиологические механизмы в зрительной системе обеспечивают сравнение фрагментов и объединение их в целостный образ?

Итак, мы рассматриваем два подхода к описанию восприятия неполных изображений: локальный (на основе локальных признаков) и глобальный (на основе статистических характеристик целостного изображения). Локальные признаки делят на две группы: обычные локальные признаки, общие для всех категорий изображений (точки, фрагменты контура и локальные текстуры) и специфические (информативные) локальные признаки, характерные для конкретных изображений. Обычные признаки выделяют рецептивные поля зрительной системы на ранних стадиях обработки изображения. К специфическим признакам можно отнести, например, характерные фрагменты контура, имеющие ключевое значение (Attneave, 1954, 1955). По таким специфическим фрагментам можно распознать предъявленный объект, но только в том случае, если заранее известно множество (алфавит), к которому данный объект принадлежит. Специфические признаки, как и обычные, выделяются в зрительной системе детекторами точек, линий, углов, крестов, но эти признаки имеют сигнальное значение. Специфические (информативные) признаки в нейрофизиологии называют признаками высшего порядка (Шевелев и др., 2000, 2003).

Изображение наблюдаемого объекта представлено в мозгу системой параллельных информационных каналов – рецептивных полей. Для выделения объекта и описания целостного образа-гештальта

отклики этих полей должны быть связаны. В первичной зрительной коре эта взаимосвязь наиболее выражена между нейронами, выделяющими элементы контура с одной ориентацией (Field, 1987, 2004; Hubel, Wiesel, 1968). Изменение ориентации непрерывного контура и разрывы контура усложняют задачу [Field, 2004].

Для исследования порогов восприятия фрагментированных фигур мы применяем различные методы. В первую очередь рассмотрим результаты исследования с помощью Голлин-теста (Gollin, 1960). Голлин-тест заключается в предъявлении контурных изображений различной степени фрагментации и в измерении порогового значения фрагментации, при котором происходит распознавание формы тестовой фигуры. На рисунке 1 показан принцип формирования фрагментированных изображений в современной версии Голлин-теста (Шелепин, 2001; Шелепин и др. 2004; 2008; Chihman et al., 2001a, 2001b, 2006; Foreman, Hemmings, 1987).



Рис. 1. Принцип формирования неполных контурных фигур (исходная фигура, маска, фрагментированная фигура)

При измерении порогов методом пределов фрагменты изображения предъявляют в сериях с инкрементным шагом; с каждым последующим шагом увеличивается полнота представления контура. В Голлин-тесте происходит «нарастание» числа фрагментов контура по мере предъявления стимула. В его основе общеизвестный метод пределов (Бардин, 1976). Голлин-тест был широко использован в клинических исследованиях нарушений памяти (Patterson et al., 1999; Shum et al., 1999, Warrington, 1982; Warrington et al., 1968), но именно он представляется нам методически удобным приемом для фундаментальных исследований алгоритмов и механизмов распознавания зрительных образов. Первоначально тест выполняли с помощью пошагового предъявления изготовленных вручную, а затем полиграфическим методом набора карточек, каждая последующая из которых содержала на 5% больше величины контура изображения какой-либо общеизвестной фигуры, чем предыдущая. В процессе исследования фиксировали величину контура, при которой наблю-

датель правильно идентифицировал фигуру. Впоследствии стало возможным организовать более точное с каждым шагом увеличение количества фрагментов фигур с появлением компьютеризированной версии теста (Foreman, Hemmings, 1987). С применением этой версии изучен широкий диапазон вербального и невербального материала для использования в качестве тестовых стимулов в психологических и клинических исследованиях (Дешкович и др., 2003; Foreman, Hemmings, 1987; Mack et al., 1993; Warrington, 1982; Warrington et al., 1968). Голлин-тест в клинике показал зависимость порога восприятия фрагментированных изображений от сохранности определенных областей мозга. Так, по сравнению с контрольными испытуемыми пациентам с правосторонним теменно-затылочным поражением требовалось предъявлять большую величину контура, чтобы был сформирован гештальт (McCarthy, Warrington, 1990; Vakil et al., 1992; Warrington, 1982; Warrington et al., 1968). В нашей лаборатории создана удобная программа измерения порогов в задачах Голлин-теста, установлена природа Голлин-теста как задачи выделения сигнала из помехи (Дешкович и др., 2003; Шелепин, 2001; Шелепин и др., 2004, 2008; Chihman et al., 2001a, 2001b, 2006; Shelepin et al., 2004), установлена зависимость порогов распознавания Голлин-теста от эмоционального состояния испытуемых (Лавров, Рудинский, 2004).

Голлин-тест традиционно рассматривали как тест восприятия неполных фигур или «замыкания контура», хотя до сих пор не затихают споры о том, как это «замыкание контура» осуществляется. Одно из направлений исследований сконцентрировано на изучении локальных признаков. Сторонники этого направления предполагают, что в основе алгоритма распознавания неполных, фрагментированных изображений лежит алгоритм выделения информативных признаков. Впервые экспериментально выделение признаков в зрительной системе было установлено Г. Барлоу в 1953 г. (Barlow, 1953). Барлоу на основании изучения зрения лягушки, предполагал, что детекторы признаков определенных классов изображений заложены генетически. В дальнейшем модель выделения признаков была широко развита (Шевелев и др., 2000; Hubel, Wiesel, 1968). В коре млекопитающих были выделены детекторы линий, решеток, углов и т.д. У человека, как и у других млекопитающих, система выделения простых признаков закладывается генетически, но ее реализация происходит в первые недели постнатального развития при условии возможности наблюдения натуральных сцен. Роль информативных признаков для распознавания была изучена в восприятии взрослых и у детей (Murray, Szymczyk, 1978).

В соответствии с геонной теорией Бидермана объекты распознаются как конфигурации примитивов, называемых геонами («геометрические ионы»), находящихся в специфическом соотношении друг с другом. В свою очередь, геоны распознаются с помощью ряда инвариантных свойств контура (прямолинейность, изгиб, параллельность, тип вершин, пересечений и т. д.). В этих работах изучали распознавание контурных изображений с систематически удаляемыми компонентными участками. Было показано, что не все сегменты контурного изображения фигуры одинаково информативны для распознавания, которое зависело от включения или пропуска возможных информативных признаков (Biederman, 1987; Biederman, Cooper, 1991).

Чтобы выявить роль информативных признаков высшего порядка, были разработаны неполные фигуры, которые избирательно включали или не содержали информативные признаки. Такими признаками, например, могли быть вершины, пересечения, экстремальные точки изгиба контура (Bentley, Derogowski, 1987; DeWinter, Wagemans, 2004). Установлено, что нейрофизиологическим механизмом, описывающим эти признаки, являются свойства рецептивных полей нейронов зрительной коры, избирательных к линиям определенной ориентации, торцам линий, углам и пересечениям (Шевелев и др., 2000; Hubel, Wiesel, 1968).

Модель восприятия на базе информативных признаков не вполне подходит для объяснения распознавания неполных Голлин-фигур, когда при использовании метода пределов в случайном порядке предъявляется очень малое количество фрагментов контура, а наблюдатель не знаком с набором тестовых изображений. В Голлин-тесте распознавание возникает во многом независимо от положения отдельных фрагментов и независимо от последовательности их предъявления. На рисунке 2 показаны примеры двух пороговых изображений Голлин-теста с одинаковым процентом величины контура, но с разной последовательностью выведения фрагментов для его заполнения (Foreman, 1991; Foreman, Hemmings, 1987).

На рисунке 2 представлены примеры двух реализаций Голлин-теста. Процент выведения контура на левом и на правом рисунке одинаков, отличаются взаимные положения фрагментов. Результаты исследований с различной последовательностью появления фрагментов в Голлин-тесте одних и тех же изображений наглядно показали, что неполные фигуры на пороге распознавания имеют различное пространственное размещение фрагментов, но порог распознавания, выраженный в значениях процента контура, остается одинаковым. На этом основании мы предположили, что в случае Голлин-теста

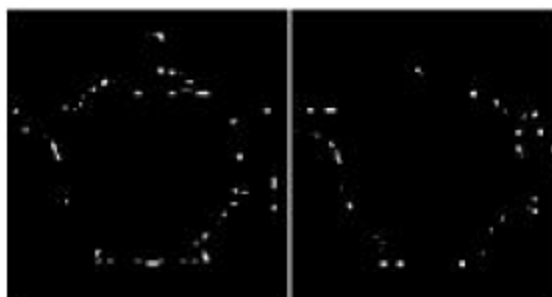


Рис. 2. Фрагментированные пороговые Голлин-изображения с одинаковым процентом заполнения контура, но с разной последовательностью вывода фрагментов

зрительная система не всегда нуждается в фазовой информации пространственно-частотного спектра фрагментированных фигур, так как она менялась бы при ином пространственном размещении фрагментов. Еще один результат проведенных нами исследований подтвердил наши сомнения в отношении справедливости утверждения о ключевой роли информативных признаков высшего порядка при решении задач по распознаванию изображений, алфавит которых не был выучен испытуемым. Для этого мы проводили измерения движений глаз при определении порогов распознавания Голлин-теста. Оказалось, что наблюдатель при решении этой задачи не прослеживает взором контур, не ищет информативные ключевые точки, а старается фиксировать взор в центре тяжести тестовой фигуры или колебаться вдоль основной оси этой фигуры (рисунок 3).

На рисунке 3 представлена схема динамического процесса, регистрируемого на видео. Кольца обозначают области фиксации. Точки фиксации (центры колец) далеки от узловых информативных точек.

Какие же нейрофизиологические процессы, если не накопление достаточного количества информативных ключевых точек, может от-

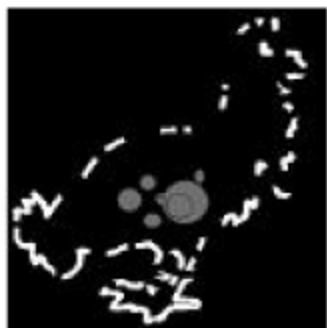


Рис. 3. Области фиксации взора при распознавании фрагментированной фигуры от начала предъявления до достижения порогового значения фрагментации

ражать измеряемый порог распознавания при первом предъявлении неполных изображений в Голлин-тесте? Вероятно, мозг оценивает глобальные статистические характеристики изображения.

И. И. Цуккерман, развивая информационный подход к описанию изображений, дал аналитическую модель работы рецептивных полей нейронов зрительной коры, обеспечивающих расчет глобальных статистических характеристик сцены (Цуккерман, 1978). Д. Филд довел эту первичную модель до работающих алгоритмов статистического описания работы рецептивных полей первичной зрительной системы как «устройств», обеспечивающих выделение простых первичных признаков, как глобальных, так и локальных (Field, 2004).

Мы сравнили результаты Голлин-теста при локальных поражениях мозга с другими тестами, также основанными на предъявлении фрагментированных образов, но отличающимися от Голлин-теста по принципам формирования изображения (Foreman, 1991). Так, в тесте Попельрейтера (Poppelreuter, 1917; Vokey et al., 1986) изображения перекрывают друг друга; в тесте зрительного «замыкания» Муни (Mooney, 1957) предъявляются части силуэтов лиц (рисунок 4).

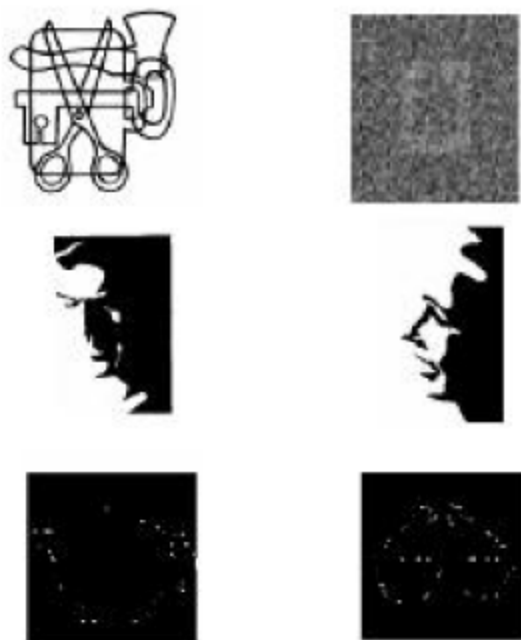


Рис. 4. Пример различных неполных изображений (Тест Попельрейтера, Муни-тест, Голлин-тест)

Результаты выполнения Голлин-теста при поражениях мозга коррелируют с результатами теста Поппельрейтера, но не с результатами Муни-теста (Foreman 1991). Эти данные подтверждают нашу гипотезу (Шелепин, 2001), согласно которой при выполнении Голлин-теста включается механизм выделения сигнала из шума, так как в тесте Поппельрейтера взаимно перекрывающиеся фигуры работают как видимые маскировки (шум) друг для друга. Тем самым впервые были заложены предпосылки нового подхода к исследованию неполных изображений, как изображений закрытых «невидимой» маской.

Известны работы по исследованию восприятия неполных (перекрытых видимой маской) изображений (Kellman, Spelke, 1983; Rensink, Enns, 1998; Servos et al., 2005), в которых исследователи изучали влияние свойств перекрытия на распознавание. В некоторых случаях явное, видимое перекрытие инициирует механизм зрительного замыкания отдельных фрагментов. Было показано, что перекрытие, которое можно назвать маской, способствует объединению разрозненных фрагментов в единый образ с последующим успешным распознаванием. Измерение информационно-статистических параметров видимой маскировки при исследовании восприятия фрагментированных фигур было применено Воки и соавт. (Vokey et al., 1986). Они удаляли видимые элементы текстуры вокруг фигуры, так что фигура становилась выделенной из фона, когда достигался пороговый баланс между фигурой (сигнал) и элементами маски (шум). Воки с соавт. определили эффект распознавания фрагментированных изображений в терминах отношения сигнала и шума.

В наших исследованиях мы сосредоточили усилия на изучении механизмов зрительного восприятия неполных изображений Голлин-теста, как задачи выделения сигнала из фона в рамках модели согласованной фильтрации (Красильников, Шелепин, 1996). Мы представили фрагментированные контурные изображения Голлин-теста как полные контурные изображения, перекрытые маской в местах отсутствия контура. При этом цвет маски совпадает с цветом фона изображения фигуры и поэтому ее не видно (рисунки 1, 2), т. е. неполнота фрагментированных изображений Голлин-теста является следствием «невидимой» маскировки. Тогда пороги, измеряемые в Голлин-тесте, должны быть зависимы от параметров этой «невидимой» маскировки, а зрительная система при распознавании, возможно, обрабатывает статистические параметры фрагментированных Голлин-фигур, которые связаны с параметрами «невидимой» маскировки.

В большинстве исследований порогов восприятия мы использовали контурные изображения Голлин-теста. Фрагменты выводили на экран с помощью программного окна задаваемого размера. Предварительно полное изображение разбивали на участки, размер которых совпадал с размером программного окна. Далее участки случайно выбирались в процессе нарастающего формирования контура фигуры на экране. Для увеличения скорости формирования фигуры в общее число выбираемых для предъявления участков изображения включались только те, которые содержали контур фигуры. Голлин-фигура формировалась на экране монитора из фрагментов, размер которых зависел от размера программного окна. Фрагменты появлялись один за другим в случайном порядке с постоянной скоростью один фрагмент в секунду. Когда испытуемый правильно узнавал фигуру, вывод фрагментов останавливали (рисунки 1, 2). Измеряли пороговое значение фрагментации фигуры (доля контура, достаточная для опознания) в абсолютных значениях (суммарное количество пикселей выведенных фрагментов) и в относительных значениях (процент относительно величины полного контура). Получили, что значения порогов опознания неполных изображений разных фигур колеблются в пределах средней величины, составляющей около 15% относительно величины полного контура изображений.

Неполнота фрагментированных фигур Голлин-теста является следствием их перекрытия невидимой для наблюдателя текстуроподобной маской с прозрачными участками (сквозь которые видны фрагменты фигуры) и непрозрачными участками (там, где фрагменты фигуры скрыты). В наших исследованиях это было сделано специально программным способом, чтобы знать статистические характеристики маски. Мы предположили, что для зрительной системы все неполные изображения содержат невидимую маску независимо от способа их построения. Яркость и цвет непрозрачных участков «невидимой» маски совпадает с яркостью и цветом фона, а размер фрагментов неполной фигуры соответствует размеру прозрачных участков. Восприятие фрагментированных изображений Голлин-теста мы рассматриваем как восприятие в условиях помехи (шума), которое, в свою очередь, представляет один из основных методов исследования зрительной системы (Красильников, Шелепин, 1996). Этот метод имеет большое значение для клиники, так как позволяет измерять уровень внутреннего шума (Красильников, Шелепин, 1996; Shelepin et al., 2000), а также эффективен для изучения агнозии и амнезии, развития механизмов распознавания в онтогенезе (Corkin, 1982; Ghent, 1956 Warrington, 1968, 1982). И так,

мы предполагаем, что восприятие неполных изображений – это выделение (фильтрация) сигнала из помехи.

В свое время И. И. Цуккерманом и его учениками был введен термин «фильтрационная агнозия» в связи с нарушением фильтрационных свойств зрительной системы, которые позволяют выделить сигнал из помехи (Тонконогий, Цуккерман, 1963; Цуккерман, 1968). Процесс инкрементного пошагового накопления фрагментов контура в Голлин-тесте до порогового состояния, т. е. увеличение числа отображаемых фрагментов, можно представить как процесс исчезновения «невидимой» маски с соответствующим увеличением вероятности извлечения сигнала из шума. Если распознавание определяется извлечением сигнала (изображение фигуры) из шума (маска), то можно попытаться определить статистические свойства маски и пороговых фрагментированных изображений. Для этой цели мы использовали пространственно-частотный анализ ввиду его широкого применения для извлечения сигнала из шума и применения при моделировании процессов зрительной обработки (Бондарко и др. 1999, Caelli, 1982, Campbell, Robson, 1968, Ginsburg, 1986; Piotrowski, Campbell, 1982).

Было установлено, что для разных фигур Голлин-теста при пороговом уровне фрагментации изменчивость параметров глобального амплитудного пространственно-частотного спектра неполных изображений достоверно меньше, чем вариабельность соответствующих параметров полных изображений и изображений при всего 3% уровне фрагментации – 3% выведенного контура, т. е. изображения фигур с пороговым уровнем фрагментации контура характеризуются минимальной внутригрупповой изменчивостью параметров их амплитудно-частотных описаний по сравнению с изображениями допорогового и надпорогового уровней фрагментации (Меркульев и др., 2003, 2004).

Порог распознавания фрагментированных фигур согласуется с «принципом наименьшего действия» (Шелепин, Красильников, 2003), который прогнозирует минимальную вариабельность спектральных параметров изображений на пороге их распознавания. Действительно, при появлении минимального числа пикселей, достаточного для различения фигур, отличия амплитудных пространственно-частотных спектров минимальны (Krsilnikov et al., 2000).

Следовательно, зрительная система может извлекать свойства маски (шума) из фрагментированного изображения (сигнала с шумом) для последующего извлечения сигнала как текстуры, ограниченной линией контура. Фигура в этих условиях выделяется с помощью согласованной фильтрации, которая удовлетворяет

заданным условиям минимизации (Шелепин, Красильников, 2003). Мы предполагаем, что зрительная система оценивает статистическое распределение невидимых фрагментов, т. е. параметры маски на основании анализа амплитудного спектра видимых фрагментов аналогично распознаванию текстур (Caelli, 1982). Фазовым спектром при решении задачи маскировки в исследованиях Голлин-теста в ряде случаев можно пренебречь. Наблюдатель пренебрегает информацией о взаимном положении фрагментов контура, но положение фрагментов на линии контура для него существенно.

В нашей работе неполнота фигур рассматривается как результат маскировки, т. е. отсутствие фрагментов контура фрагментированной фигуры – это результат влияния «невидимой» маски. Можно представить, что фигура частично перекрыта маской, имеющей определенные как статистические, так и пространственно-частотные параметры. Хотя эта маска «невидимая», но для первичных этапов обработки зрительной информации она реальна и имеет свойства мультипликативного шума. Она фильтруется первичными звеньями зрительной системы и не осознается в высших звеньях. Поэтому мы называем ее еще «неосознанной маской». Неполные фигуры Голлин-теста были промоделированы как фигуры, перекрытые маской со случайно расположенными прозрачными и непроницаемыми участками. Мы установили статистические характеристики контурного изображения и шумовой маски в результате их обработки в пространственной и пространственно-частотной области.

Это положение подкрепляют наши исследования с использованием новой методики, отличающейся от Голлин-теста. Мы провели измерения распознавания неполных изображений, в условиях вынужденного выбора, полученных с помощью наложения «невидимой» маски с упорядоченными параметрами (рисунок 5), а не случайными, как в Голлин-тесте. Степень и характер упорядочивания «невидимой» маски изменяет пороги восприятия. Результаты исследований показали, что распознавание ухудшается при увеличении длин участков контура и промежутков между ними при сохранении одинакового уровня заполнения контура. Пример упорядоченной «невидимой» маски – решетки, цвет которой совпадает с фоном, приведен на рисунке 5.

Проведенные нами многочисленные исследования подтверждают наше предположение, согласно которому при восприятии фрагментированных фигур Голлин-теста в зрительной системе работают механизмы фильтрации сигнала из шума.

Проблему объединения фрагментированного изображения в целостный образ в рамках пространственно-частотного подхода,



Рис. 5. Формирование неполных изображений с помощью упорядоченных невидимых масок-решеток с разной пространственной частотой

казалось, можно решить на основании низкочастотной фильтрации. Еще в начале 1970-х годов А. Гинзбург высказал предположение, что зрительная система человека объединяет разрозненные фрагменты в единое целое, в гештальт, с помощью низкочастотной фильтрации (Ginsburg, 1986). При низкочастотной фильтрации исходного изображения, представляющего собой набор фрагментов – однотонных квадратиков, сгруппированных в пространстве в виде буквы со сложным спектральным составом, низкочастотная составляющая спектра является тем связующим звеном, которое зрительная система использует для объединения этих фрагментов в целостное изображение буквы. А. Гинзбург предполагал, что любое объединение фрагментов в единое целое можно объяснить только низкочастотной фильтрацией. Модель А. Гинзбурга казалась чрезвычайно привлекательной. С ее помощью стали возможны объяснение многих явлений восприятия и восстановление изображений.

Алгоритмы, напоминающие модель А. Гинзбурга, успешно используют при поиске изображений в базах данных. Так как во многих случаях сложно составить адекватное словесное описание изображения, для поиска в таких базах используется образец в виде грубого наброска или какого-либо другого изображения, похожего на искомое. Набросок обладает лишь приблизительным сходством с целевым изображением: в нем отсутствуют многие детали, а пропорции могут быть искажены. Поэтому поиск путем прямого сравнения образца с изображениями, хранящимися в базе, невозможен. Вместо этого образец подвергается вейвлет-преобразованию, в результате которого вычисляется набор числовых коэффициентов, описывающих

изображение на различных масштабных уровнях и пространственно-частотных диапазонах (так называемое пирамидное представление). Группа коэффициентов, соответствующих низкочастотному диапазону, имеет отношение к крупномасштабным деталям изображения. Именно эти коэффициенты, содержащие наиболее существенную информацию об изображениях, и используются для формирования запроса к базе данных. Естественно, аналогичные наборы коэффициентов предварительно вычисляется и для всех изображений, хранящихся в базе. Это метод оказался эффективным даже в случае весьма схематичных набросков, содержащих лишь небольшую часть информации о тестовом изображении (Jacobs, 1995).

Однако использование низкочастотной пространственной фильтрации отражает лишь часть проблемы и не может объяснить все режимы работы зрительной системы. Накапливающиеся экспериментальные данные позволили усомниться в такой простой трактовке механизма объединения фрагментов изображения. Еще в 1980-е годы мы изучили влияние пространственно-частотной фильтрации фрагментированных букв (Павлов и др., 1989). Особенность нашего подхода заключалась в том, что мы применили различную фильтрацию фрагментированных букв: широкополосную, и полосовую высокочастотную и низкочастотную. Оценивали способность наблюдателя объединять разрозненные фрагменты дискретного изображения в целостный образ, в гештальт. Был выбран узкий класс тестовых изображений – в виде буквы «Ш» в четырех ориентациях. Эти стимулы изображены на рисунке 6.

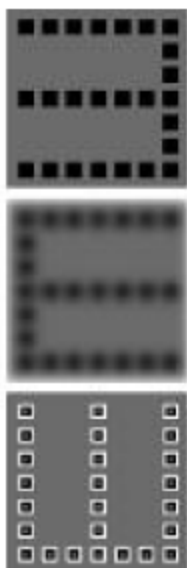


Рис. 6. Примеры фрагментированных оптотипов: сверху исходные, в центре после низкочастотной фильтрации (пропущены низкие пространственные частоты), внизу после высокочастотной фильтрации

Тесты были синтезированы на ЭВМ с полутоновым дисплеем в пределах матрицы 12×12 фрагментов построения матрицы. Каждый из этих фрагментов, в свою очередь, также строился из матрицы размерностью 12×12 точек (пикселей дисплея), причем каждый пиксел мог принимать значения яркости относительно среднего уровня в диапазоне от +8 до -8 условных единиц. Были использованы стимулы, представляющие графически одну и ту же букву «Ш», но в разных ориентациях. Испытуемый должен был называть их как разные буквы алфавита в соответствии с ориентацией: е, т, ш, э.

Использовали фрагменты трех типов. Фрагменты первого типа представляли собой небольшие прямоугольники с постоянной в пределах фрагмента яркостью и имели широкий спектр, содержащий как низкочастотную, так и высокочастотную составляющие. Фрагменты второго типа имели яркостной профиль в форме полуволны синусоиды; их спектр концентрировался в низкочастотной области. И наконец, фрагменты третьего типа представляли собой комбинацию из вложенных друг в друга темных и светлых квадратов, причем усредненная яркость такого фрагмента была равна яркости фона (рисунок 6). Спектр этого типа фрагментов лежал в области высоких пространственных частот. Изменяя расстояние от испытуемого до дисплея, можно было плавно изменять угловой размер тестовых изображений и, соответственно, их спектр, смещая его в высокочастотную или низкочастотную области.

Предъявляли оптоотипы с различными уровнями фрагментации. Пределы фрагментации были таковы, что при максимальном числе фрагменты сливались в непрерывные линии, а при максимуме фрагментации (минимальном числе фрагментов) буква распадалась. Получена психометрическая функция, отражающая процент ошибок в зависимости от количества фрагментов разбиения их формы, разной удаленности от дисплея и контраста.

При малых угловых размерах оптоотипа наименьший процент ошибок у наблюдателя был тогда, когда фрагменты были прямоугольной формы, а фильтрация в высокочастотном и низкочастотном диапазоне ухудшала различение. Этот результат можно было предсказать: изображение, построенное из прямоугольных полных фрагментов, содержит максимальную спектральную энергию сигнала. При малых угловых размерах распознавание сильно зависит от энергии сигнала.

Результаты измерений при малых расстояниях наблюдателя от дисплея, когда угловые размеры дисплея и тестовых букв и их фрагментов велики, при исследовании возможности распознавания букв, составленных из фрагментов с высокочастотным профилем,

не содержащих низких пространственных частот, оказались нетривиальными. Тестовые изображения, составленные из черно-белого края на сером фоне, получили в дальнейшем название «исчезающие» оплоты.

Сама возможность восприятия целостного изображения при наблюдении «исчезающих» фрагментов позволяет утверждать, что объединение фрагментов в единое целое в таких условиях наблюдения производится без низкочастотной составляющей в спектре изображения. Объединение, вероятно, осуществляется методом построения огибающей функции, которая в этом случае строится на основе предварительного выделения высокочастотных фрагментов изображения, а не на основании выделения низкочастотных составляющих, присутствующих в спектре самого изображения.

Информация о краях фрагмента должна была согласована с весовой функцией рецептивного поля для оптимального выделения некоего фрагмента изображения. Нейрофизиологическим коррелятом пространственного элемента разбиения в зрительной системе являются рецептивные поля. Фрагменты с высокочастотным профилем имеют большую ориентационную чувствительность, чем низкочастотные, и это обеспечивает более выраженные корреляционные связи между рецептивными полями с одной ориентацией.

Гипотеза А. Гинзбурга о первичной роли низкочастотных компонент в исходном изображении, влияющих на способность объединять фрагменты изображения в образ, вероятно, справедлива при малых размерах фрагментов и изображений в естественных условиях наблюдения. При больших фрагментах зрительная система может использовать и другие признаки, в частности, существенным являются ориентационные составляющие фрагментов, что в дальнейшем было подтверждено неоднократно как в лаборатории Д. Филда, так и в наших последних исследованиях. Результаты наших еще не опубликованных исследований механизмов восприятия с предъявлением неполных изображений с упорядоченными параметрами показали, что высокочастотные компоненты (или мелкие детали) важны для правильного распознавания изображений, но ошибки опознания определяются схожестью низкочастотного содержимого спектров различных неполных изображений.

Пространственно-частотный подход позволяет утверждать, что пороги восприятия зависят от степени фрагментации, спектрального состава фрагмента и угловых размеров тестов. При больших размерах тестов опознаются лучше те, которые образованы из фрагментов с выраженной ориентационной составляющей. Показана роль предварительной высокочастотной фильтрации, которая

обеспечивает четкую ориентационную направленность фрагментов и тем самым облегчает их связывание. Низкочастотная фильтрация также облегчает слияние, но преимущественно при малых угловых размерах тестовых изображений. Пространственно-частотная фильтрация определяет работу лишь первичных каскадов обработки информации. Она не может объяснить сам процесс узнавания и фрагментированного изображения. Для этого необходимо привлечение модели согласованной фильтрации.

При повторных предъявлениях все более возрастает роль информативных признаков, по которым можно опознать весь объект. Выделение признаков работает в основном при восприятии выученного алфавита. Именно обучение данному алфавиту стимулов и, соответственно, алфавиту специфических для данного набора изображений признаков позволяет по малому числу признаков распознавать неполный объект.

Пороги распознавания при первом предъявлении изображений по данным разных авторов составляют от 15 до 25% величины контура, которую необходимо предъявить, чтобы наблюдатель мысленно восстановил изображение. Обучение алфавиту чрезвычайно важно. Исследования показывают, что после 2–4 повторений измерений с данным набором контурных изображений фрагментированное изображение из данного набора может быть идентифицировано при предъявлении всего лишь нескольких фрагментов контура, составляющих в сумме 3–4% его величины. Повторение Голлин-теста приводит к быстрому уменьшению значений порогов распознавания, вероятно, вследствие неявного обучения и памяти (Foreman, 1991; Foreman, Hemmings, 1987).

Были проведены работы по исследованию влияния на пороги распознавания эффекта «знакомства» со стимулами и маской путем их повторения в серии последовательных опытов. «Знакомство» с маской обеспечивал алгоритм программы, которая использует в разных опытах «окна» маски одинакового размера. Повторное предъявление «знакомых» фигур привело к значительному снижению порогов. Снижение порогов происходило и при предъявлении «незнакомых» фигур, но со «знакомой» маской. Снижение порогов узнавания указывает на оптимизацию механизма выделения фигуры из шума.

Зрительная система «извлекает» фигуру из «невидимой» маски, определяя статистические свойства маски как типичной текстуры, определяя размер и вероятность появления элементов «невидимой» маски. Возможно, что это совершается через определение среднего размера наблюдаемых элементов и оценку средней дистанции между

ними. В процессе обучения испытуемый знакомится со статистическими свойствами «невидимой» маски, и это облегчает восприятие. Данный способ зрительная система использует тогда, когда каждое новое предъявление одной и той же фигуры имеет независимое случайное распределение последовательно выводимых фрагментов.

Это не единственный механизм уменьшения порогов восприятия. Если алгоритм вывода фрагментов квазислучаен, т. е. повторяется одна и та же реализация случайной последовательности выведения фрагментов, то возможно обучение другого типа, например, по характерному положению отдельных фрагментов или по сочетанию характерных локальных специфических признаков. В процессе обучения, когда испытуемый знакомится с алфавитом стимулов, одинаково большое значение для успешного распознавания принимают и целостная форма объекта, и локальные информативные признаки, и статистика маски. Поскольку наблюдатель может распознать изображение при предъявлении всего 5% величины контура, а иногда и 1% этой величины, это означает, что испытуемый использует какие-то отдельные характерные локальные признаки в изображении, причем иногда эти признаки (на основании опроса испытуемых) оказываются у разных испытуемых разными.

Зрительная система человека при первом предъявлении стимула оценивает глобальную статистическую информацию в изображении, которая может быть описана амплитудным спектром «невидимой» маски. Это оптимизирует механизм выделения сигнала из шума в качестве первичной фильтрации для последующего выполнения согласованной фильтрации в соответствии с предложенной ранее моделью обработки информации в зрительной системе (Красильников, Шелепин, 1997). При первом предъявлении алфавита незнакомых изображений объектов наблюдатель воспринимает фрагментированные изображения как целые, но замаскированные объекты. Фрагментированная фигура извлекается из шума, а затем в зрительной системе происходит сравнение с внутренним обобщенным шаблоном этого объекта. Согласно развиваемым нами представлениям, вначале при невыученном алфавите тестов роль специфических признаков невелика. Для каждого последующего предъявления они становятся более важными. Первое же предъявление стимула запускает механизм обучения. Происходит выработка шаблона конкретного изображения данного объекта. Обучение, вероятно, отражает процесс сохранения специфических признаков и дальнейшего согласования с ними процесса восприятия.

Зрительная система в процессе обучения использует на разных этапах обработки сигнала как простые, так и специфические призна-

ки. В модели согласованной фильтрации, отображаемые фрагменты накладываются на выработанный в процессе обучения шаблон целостной фигуры, в результате происходит распознавание объекта. Где в зрительной системе совершается опознание фрагментированных изображений? В работах О. Брэдика и Дж. Аткинсон показана роль престриарной коры в глобальном, целостном описании (Braddick et al., 2006). Показано развитие механизмов престриарной коры в онтогенезе. Результат О. Брэдика и Дж. Аткинсон соответствует нашим старым исследованиям по локализации обобщенного глобального инвариантного описания изображений в мозгу хищников (Шелепин, 1973, 1984) и последним нашим работам по локализации глобального описания в мозгу человека по данным функциональной магнитно-резонансной томографии (Фокин и др., 2007).

На рисунке 7 видна разница в активации именно престриарных областей, при стимуляции матрицами в которых элементы имели случайную или упорядоченную ориентацию. В этих исследованиях испытуемому предлагали в одной серии пассивно наблюдать тесты, в другой серии исследований активно принимать решение о доминирующей в матрице ориентации фрагментов и нажимать левую или правую кнопку мыши при определении доминирующей ориентации. Было проведено сравнение ответов на более упорядоченные и на более хаотичные стимулы. Поэтому двигательный ответ в коре, который зависел от ориентации, а не от степени упорядоченности, усреднялся. На рисунке 7 приведена разница в значениях активации мозга при стимуляции мозга малоупорядоченными матрицами (24% элементов Габора одной ориентации в матрице, содержащей

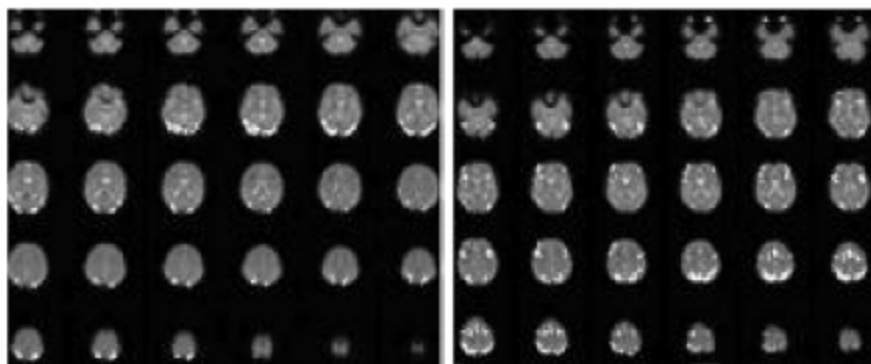


Рис. 7. Активные участки мозга (белые пятна), по данным функциональной магнитно-резонансной томографии, в ответ на предъявление упорядоченных (вверху) и хаотичных (внизу) фрагментированных изображений

10×10 элементов) относительно более строго упорядоченных (56%) при пассивном наблюдении. Белым цветом отмечена статистически значимая разница, отражающая увеличение интенсивности магнитно-резонансного сигнала в ответ на предъявление сложных для распознавания матриц с низкой степенью упорядоченности (24%) по сравнению с фазой распознавания более упорядоченных матриц (56%). Следовательно, для оценок глобальных статистик изображения недостаточно «горизонтальных» связей нейронной сети первичной зрительной коры, необходимо включение нейронов претриарной и теменной коры. При восприятии когерентного движения множества точек в поле зрения также активируются эти зоны мозга. В дальнейших исследованиях механизмов распознавания неполных и фрагментированных изображений интерес представляет восходящее и нисходящее взаимодействие различных областей зрительной коры.

Заключение

Изучение восприятия неполных изображений с применением Голлин-теста имеет большое практическое значение в информационных технологиях для создания эффективных алгоритмов распознавания аэрофотоснимков, идентификации лиц в толпе, в обработке медицинских изображений и рукописных текстов. В клинической нейропсихологии исследование механизмов объединения разрозненных фрагментов в единое целое необходимо как для понимания процессов восприятия, обеспечивающих правильную идентификацию фигур, так и для локализации пораженных механизмов у больных с некоторыми формами агнозии. В клинических исследованиях способность правильно воспринимать и идентифицировать зашумленные, фрагментированные изображения давно используют для изучения онтогенеза зрительной системы, для исследования нарушений памяти у больных с амнезией, для измерения изменений зрительного восприятия в результате локальных поражений мозга. В когнитивной и экспериментальной психологии этот развивается в целях изучения перцептуального развития у представителей различных культур, для установления алгоритмов распознавания формы, для исследования зрительной памяти.

Голлин-тест удобен для решения клинических проблем дифференциальной диагностики когнитивных нарушений, так как он позволяет исследовать механизмы распознавания, выделения фигуры из фона, обучение и скорость обучения при повторных предъявлениях. В когнитивной психологии трудно найти другой тест, который так облегчает исследование разные механизмы восприятия и памяти.

В данном обзоре мы рассмотрели два подхода к изучению механизмов восприятия фрагментированных фигур: выделение признаков высшего порядка в изображении и определение общих статистических свойств изображения для выделения гештальта. Второй подход подкреплен моделью согласованной фильтрации. Эти два подхода надо считать не конкурентными, а взаимодополняющими. Задача и сложности изображения определяют принятие наблюдателем решения об изображении либо по отдельным специфическим для данного изображения признакам высшего порядка, либо по целостной статистической структуре. Показано, что зрительная система выделяет глобальные статистические свойства целостного изображения. Информативные локальные признаки высшего порядка мозг использует как дополнительный источник информации. При обучении данному алфавиту стимулов роль этого источника резко возрастает, поэтому при первом предъявлении незнакомого набора изображений пороги фрагментации составляют около 15–30% контура неполной контурной фигуры. После обучения порог снижается до 5% контура. В этих условиях распознавание возможно только на основании локальных информативных признаков.

В соответствии с моделью согласованной фильтрации, обеспечивающей распознавание фрагментированных изображений в Голлин-тесте фрагментированное изображение объекта воспринимается как целостная структура, сравниваемая с шаблоном, который хранится в памяти и выбирается с помощью механизма избирательного внимания.

При первом знакомстве с алфавитом стимулов работают механизмы восприятия целостного образа, гештальта. В этих условиях зрительная система на первом этапе рассчитывает статистические характеристики изображений. Полосовая фильтрация в этих условиях оптимизирует отношение сигнал/шум. Затем происходит согласованная фильтрация. На заключительном этапе наступает принятие решения и двигательный ответ. Выделение информативных специфических локальных признаков высшего порядка, может включаться в основном при восприятии хорошо выученного алфавита.

Статистика маски в Голлин-тесте, заложенная программным образом, действительно распознается наблюдателем. Следовательно, зрительная система может фильтровать не только видимую маску, но и «невидимую» маску. Так как «невидимая маска» выделяется и обрабатывается зрительной системой, то ее целесообразно называть маской «неосознаваемой». Последний вывод важен для понимания когнитивных нарушений, при которых происходит нарушение фильтрационных свойств на разных уровнях зрительного анализатора.

ЛИТЕРАТУРА

- Бардин К. В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М.: Наука, 1976.
- Бондарко В. М., Данилова М. В., Красильников Н. Н., Шелепин Ю. Е. Пространственное зрение. Л.: Наука, 1999.
- Глезер В. Д. Зрение и мышление. Л.: Наука, 1996.
- Дешкович А. А., Меркульев А. В., Чихман В. Н., Шелепин Ю. Е. Восприятие фрагментированных изображений и диагностика поражений зрительной системы // Труды конференции «Боевые повреждения органа зрения». СПб.: Изд-во ВМА 2003. С. 161.
- Каменкович В. М., Шевелев И. А. Латентные периоды опознания человеком геометрических фигур при разной степени маскировки их сторон и углов // Физиология человека. 2006. Т. 32. № 2. С. 5–9.
- Красильников Н. Н., Шелепин Ю. Е. Маскировка как результат согласованной фильтрации в зрительной системе человека // Физиология человека. 1996. Т. 22. № 5. С. 99–103.
- Красильников Н. Н., Шелепин Ю. Е. Функциональная модель зрения // Оптический журнал. 1997. Т. 64. № 2. С. 72–82.
- Лавров В. В., Рудинский А. В. Распознавание фрагментарных изображений // Сенсорные системы. 2004. Т. 4. С. 317–324.
- Мирошников М. М. Иконика в физиологии и медицине // Л.: Наука, 1987.
- Меркульев А. В., Шелепин Ю. Е., Чихман В. Н., Пронин С. В., Фореман Н. Оптико-геометрические характеристики и пороги восприятия фрагментированных контурных фигур // Рос. физиол. журн. 2003. Т. 89. № 6. С. 731–737.
- Меркульев А. В., Пронин С. В., Семенов Л. А., Фореман Н., Чихман В. Н., Шелепин Ю. Е. Пороги отношения сигнал/шум при восприятии фрагментированных изображений // Рос. физиол. журн. 2004. Т. 90. № 11, С. 1348–1355.
- Павлов Н. Н., Коскин С. А., Шелепин Ю. Е. Влияние пространственной дискретизации и фильтрации элементов изображений на возможность объединения их в образ // Сенсорные системы. 1989. Т. 3. № 4. С. 417–422.
- Подвигин Н. Ф., Багаева Т. В., Подвигина Д. Н. Селективная самосинхронизация импульсных потоков в нейронных сетях зрительной системы // Доклады Академии наук. 2005. Т. 400. № 1. С. 1–3.
- Тонконогий И., Цуккерман И. Применение изображений, искаженных флуктуациями, для изучения нарушений зрительного гнозиса // Журнал невропатологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 1963. Т. 63. № 2. С. 236–239.
- Фокин В. А., Шелепин Ю. Е., Хараузов А. К., Севостьянов А. В., Труфанов Г. Е., Пронин С. В. Активация областей коры головного мозга человека, активируемых при восприятии упорядоченных и хаотичных изображений // Российский физиологический журнал. 2007. Т. 93. № 10. С. 1089–1100.

- Цуккерман И. В., О согласованности пространственно-частотных фильтров зрительного анализатора со статистикой изображений // Биофизика. 1978. Т. 23. № 6. С. 1108–1109.
- Шевелев И. А., Каменкович В. М., Шараев Г. А. Относительное значение линий и углов геометрических фигур для их опознания человеком // Журн. высш. нервн. деятельности. 2000. Т. 50. № 3. С. 403.
- Шевелев И., Каменкович В., Лазарева Н., Новикова Р., Тихомиров А., Шараев Г. Психофизическое и нейрофизиологическое исследование опознания неполных изображений // Сенсорные системы. 2003. Т. 17. № 4. С. 339–346.
- Шелепин Ю. Е., Макулов В. Б., Красильников Н. Н., Чихман В. Н., Пронин С. В., Даниличев В. Ф., Коскин С. А. Иконика и методы оценки функциональных возможностей зрительной системы // Сенсорные системы. 1998. Т. 12. № 3. С. 319–328.
- Шелепин Ю. Е. Локализация областей зрительной коры кошки, дающих инвариантный ответ при изменении размера изображения // Нейрофизиология. 1973. Т. 5. № 2. С. 115–121.
- Шелепин Ю. Е., Сопоставление топографических и пространственно-частотных характеристик латеральной супрасильвиевой и стрипарной областей коры кошки // Нейрофизиология. 1984. Т. 16. № 1. С. 35–41.
- Шелепин Ю. Е. Восприятие фрагментированных изображений // Организация и пластичность коры больших полушарий головного мозга. НИИ мозга РАМН. М., 2001. С. 103.
- Шелепин Ю., Красильников Н. Принцип наименьшего действия, физиология зрения и условнорефлекторная теория // Рос. физиол. журн. 2003. Т. 89. № 6. С. 725–730.
- Шелепин Ю. Е., Чихман В. Н., Хараузов А. К., Бондарко В. М., Вахрамеева О. А. Восприятие фрагментированных изображений // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 2004. Т. 90. № 8. С. 355.
- Шелепин Ю. Е., Чихман В. Н., Фореман Н. Анализ исследований восприятия фрагментированных изображений: целостное восприятие и восприятие по локальным признакам // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2008. Т. 94. № 7. С. 758–776.
- Attneave F. Some information aspects of visual perception // Psychological Review. 1954. V. 61. P. 183–198.
- Attneave F. Symmetry, information and memory for patterns // American Journal of Psychology. 1955. V. 68. P. 209–222.
- Barlow H. Summation and inhibition in the frog's retina // J. Physiol. (Lond). 1953. V. 119. P. 69–88.
- Bentley A. M., Deregowski J. B. Pictorial experience as a factor in the recognition of incomplete figures // Applied Cognitive Psychology. 1987. V. 1. P. 209–216.

- Biederman I.* Recognition-by-components: A theory of human understanding // *Psychological Review*. 1987. V. 94. P. 115–147.
- Biederman I., Cooper E. E.* Priming contour-deleted images: Evidence for intermediate representations in visual object recognition // *Cognitive Psychology*. 1991. V. 23. P. 393–419.
- Braddick O. J., Birtles D., Mills S., Warshafsky J., Wattam-Bell J. & Atkinson J.* Brain responses to global perceptual coherence // *Journal of Vision*. 2006. V. 6 (N 6). P. 426.
- Caelli T.* On discriminating visual textures and images // *Perception & Psychophysics*. 1982. V. 31. P. 149–159.
- Campbell F., Robson J.* Application of Fourier analyses to the visibility of gratings // *Journal of Physiology*. 1968. V. 197. P. 551–566.
- Chikhman V., Shelepin Y., Pronin S., Harausov A., Krasilnikov N., Makulov V.* Electrophysiological measurements of the natural image distortion // *SPIE*. 1998. V. 3299. P. 510–518.
- Chikhman V. N., Shelepin Y. E., Foreman N., Merkuljev A. V., Krasilnikov N. N.* The Gollin test and the optical properties of incomplete figures at threshold // *Perception. Suppl.* 2001. V. 30. P. 89.
- Chikhman V., Shelepin Y., Pronin S., Lavrov V., Pushkarev Y.* Influence of anxiety on recognition of fragmented contour images by human observers // *Perception. Suppl.* 2001. V. 30. P. 88.
- Chikhman V., Shelepin Y., Foreman N., Merkuljev A., Pronin S.* Incomplete figure perception and invisible masking // *Perception*. 2006. V. 35. P. 1441–1457.
- Corkin S.* Some relationships between global amnesias and the memory impairments in Alzheimer's Disease // *Alzheimer's Disease: A Report of Progress / Eds. Corkin S., Davis K., Growdon J., Usdin E., Wurtman R.* New York: Raven Press, 1982. P. 149–164.
- De Winter J., Wagemans J.* Contour-based object identification and segmentation: Stimuli, norms and data, and software tools // *Behavior Research Methods, Instrumentation, & Computers* 2004. V. 36. P. 604–624.
- DiGiulio D. V., Seidenberg M., O'Leary D. S., Raz N.* Procedural and declarative memory: A development study // *Brain and Cognition*. 1994. V. 25. P. 79–91.
- Field D. J.* Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells // *Journal of the Optical Society of America*. 1987. V. 4. P. 2379–2394.
- Field D., Hayes A.* Contour integration and the lateral connections of V1 neurons // *In The Visual Neurosciences / Eds. M. Chalupa, J. S. Werner.* Cambridge, MA: MIT Press, 2004. P. 1069–1079.
- Foreman N.* Correlates of performance on the Gollin and Mooney tests of visual closure // *Journal of General Psychology*. 1991. V. 118. P. 13–20.
- Foreman N., Hemmings R.* The Gollin incomplete figure test: a flexible, computerized version // *Perception*. 1987. V. 16. P. 543–548.

- Fries P., Schroder J., Roelfsema P., Singer W., Engel A. Oscillatory neuronal synchronization in primary visual cortex as a correlate of stimulus selection // *Journal of neuroscience*. 2002. V. 22. N 9. P. 3739–3754.
- Ghent L. Perception of overlapping and embedded figures by children of different ages // *American Journal of Psychology*. 1956. V. 69. P. 575–587.
- Ghosh A., Petkov N. Robustness of shape descriptors to incomplete contour representations // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*. 2005. 27. P. 1793–1804.
- Giersch A., Humphreys G. W., Boucart M., Kovacs I. The computation of occluded contours in visual agnosia: Evidence for early computation prior to shape binding and figure – ground coding // *Cognitive Neuropsychology*. 2000. V. 17. P. 731–759.
- Ginsburg A. Spatial filtering and visual form perception // *Handbook of Perception and Human Performance* / Ed. K. Boff. New York: John Wiley and Sons, 1986. P. 99–109.
- Gollin E. S. Developmental studies of visual recognition of incomplete objects. *Perceptual and Motor Skills*. 1960. V. 11. P. 289–298.
- Gruber T., Muller M., Keil A. Modulation of induced gamma band responses in a perceptual learning task in the human EEG // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2002. V. 14. P. 732–744.
- Hess R., Field D. Integration of contours: new insights // *Trends in Cognitive Sciences*. 1999. V. 3. N12. P. 480–486.
- Hess R., Hayes A., Field D. Contour integration and cortical processing // *Journal of Physiology*. Paris, 2003. V. 97. P. 105–119.
- Hubel D. H., Wiesel T. N. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex // *J. Physiol. Lond.*, 1968. V. 195. P. 215–243.
- Jacobs C., Finkelstein A., Salesin D. Fast multiresolution image querying. In *Proceedings of SIGGRAPH 95*, pages 2009–296. ACM, New York, 1995.
- Kanizsa G. *Organization in Vision*. New York: Praeger, 1979.
- Kellman P., Spelke E. Perception of partly occluded objects in infancy // *Cognitive Psychology*. 1983. V. 15. N 4. P. 483–524.
- Krasilnikov N. N., Krasilnikova O. I., Shelepin Y. E. Perception of achromatic, monochromatic, pure chromatic and chromatic noisy images by real human-observer under threshold conditions // *Proceedings of SPIE. Medical Imaging. California*. February 2000. Vol. 3981. P. 113–121.
- Mack J. L., Patterson M. B., Schnell A. H., Whitehouse P. J. Performance of subjects with probable Alzheimer Disease and normal elderly controls on the Gollin Incomplete Pictures Test // *Perceptual and Motor Skills*. 1993. V. 77. P. 951–969.
- Marr D. *Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: W. Freeman, 1982.
- Mathes B., Fahle M. Closure facilitates contour integration // *Vision Res*. 2007. V. 47. P. 818–827.

- May K., Hess R. Dynamics of snakes and ladders // *Journal of Vision*. 2007. V. 7. N 12. P. 1–9.
- Mooney C. M. Age in the development of closure ability in children // *Canadian Journal of Psychology*. 1957. V. 2. P. 219–226.
- Murray F. S., Szymczyk J. M. Effects of distinctive features on the recognition of incomplete figures // *Developmental Psychology*. 1978. V. 14. P. 356–362.
- Olshausen B. A., Field D. J. Emergence of simple-cell receptive field properties by learning a sparse code for natural images // *Nature*. 1996. V. 381. P. 607–609.
- Olshausen B. A., Field D. J. Sparse coding of sensory inputs // *Current Opinion in Neurobiology* 2004. V. 14. P. 481–487.
- Patterson M. B., Mack J. L., Schnell A. H. Performance of elderly and young normals on the Gollin Incomplete Pictures Test // *Perceptual and Motor Skills*. 1999. V. 89. P. 663–664.
- Piotrowski L. N., Campbell F. W. A demonstration of the visual importance and flexibility of spatial-frequency amplitude and phase // *Perception*. 1982. V. 11. P. 337–346.
- Poppelreuter W. Die psychischen Scha»digungen durch Kopfschuss im Kriege 1914–1916. Leipzig: Voss, 1917.
- Reales J. M., Ballesteros S., Garcia E. Visual word identification thresholds for the 260 fragmented words of the Snodgrass and Vanderwart pictures in Spanish // *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*. 2002. V. 34. P. 276–285.
- Rensink R., Enns J. Early completion of occluded objects // *Vision Res*. 1998. V. 38. P. 2489–2505.
- Servos P., Olds E., Planetta P., Humphrey G. Recognizing partially visible objects // *Vision Res*. 2005. V. 45. P. 1807–1814.
- Shelepin Y. E., Pavlov N. N. Spatial discreteness, image filtration, and Gestalt construction // *Perception. Suppl.* 1989. V. 12. N 4. P. 537.
- Shelepin Y. E., Krasilnikov N. N., Krasilnikova O. I., Chihman V. N. What Visual Perception Model is Optimal in Terms of Signal-to-Noise Ratio? Proceedings of SPIE. Medical Imaging. San Diego, California. 2000. N 3981. P. 161–169.
- Shelepin Y., Vahrameeva O., Harauzov A., Pronin S., Krasilnikov N., Foreman N., Chihman V. The recognition of incomplete contour and half-tone figures // *Perception. Suppl.* 2004. V. 33. P. 85.
- Shum D., Jamieson E., Bahr M., Wallace G. Implicit and explicit memory in children with traumatic brain injury // *Journal of Clinical and Exp. Neuropsychology*. 1999. V. 21. P. 149–158.
- Singh M., Fulvio J. Bayesian contour extrapolation: Geometric determinations of good continuation // *Vision Res*. 2007. V. 47. P. 783–798.
- Snodgrass J. G., Hirschman E. Dissociations among implicit and explicit memory tasks: The role of stimulus similarity // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1994. V. 20. P. 150–160.

- Spitz H. H., Borland M. D.* Redundancy in line drawings of familiar objects: effects of age and intelligence. *Cognitive Psychology*. 1971. V. 2. P. 196–205.
- Tsukkerman I. I., Shelepin Y. E.* The methods of computer graphics in the neuropsychology // *Graphycon-93*. SPb., 1993. V1. P. 42–53.
- Tversky T., Geister W., Perry J.* Contour grouping: closure effects are explained by good continuation and proximity // *Vision Res*. 2004. V. 44. P. 2769–2777.
- Ullman S.* Aligning pictorial descriptions: An approach to object recognition // *Cognition*. 1989. V. 32. P. 193–254.
- Vakil E., Hoofien D., Blachstein H.* Total amount learned versus learning rate of verbal and nonverbal information, in differentiating left- from right-brain-injured patients // *Achives of Clinical Neuropsychology*. 1992. V. 7. P. 111–120.
- Vokey J. R., Baker J. G., Hayman G., Jacoby L. L.* Perceptual identification of visually degraded stimuli // *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*. 1986. V. 18. P. 1–9.
- Warrington E. K.* Neuropsychological studies of object identification. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1982. V. 298. P. 15–33.
- Warrington E., Weiskrantz L.* New method of testing long-term retention with special reference to amnesic patients // *Nature*. 1968. V. 217. P. 972–974.

ГЛАВА 16

РОЛЬ СЕТЧАТОЧНЫХ И КОРКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ЗРЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ СУБЪЕКТИВНЫХ ОЦЕНОК РАЗЛИЧИЙ И ВЫЗВАННОГО ПОТЕНЦИАЛА РАЗЛИЧИЯ

Сферическая модель различения зрительных стимулов

Основная идея предлагаемого в данной работе подхода заключается в переходе от измерения реакций зрительной системы на отдельный стимул (в частности, вызванных потенциалов коры головного мозга или электроретинограммы глаза) к измерению реакции на мгновенную смену пары стимулов друг на друга. Такая реакция рассматривается как электрофизиологическая мера субъективного различия между стимулами (так называемый вызванный потенциал различения), которая может быть прямо сопоставлена с психофизическими мерами межстимульных различий, полученными у испытуемых методами субъективного шкалирования. Данный подход явился следствием построения сферической модели различения зрительных стимулов. Стимулы, представляющие собой изображения различной сложности (гомогенное поле разного спектрального состава и яркости, простые геометрические фигуры в виде линий или углов разной величины и ориентации, схематические изображения лица, буквы русского и латинского алфавитов, случайные сочетания букв, слова, обозначающие цвета и эмоции), представлены в этой модели точками в евклидовом пространстве небольшой размерности так, что все межточечные расстояния прямо соотносятся с субъективными межстимульными различиями, полученными при оценке испытуемыми попарно предъявляемых стимулов. Каждый зрительный стимул представлен в данной модели n -мерным вектором, и все векторы-стимулы имеют одинаковую

Работа выполнена при финансировании Российского гуманитарного научного фонда, проект № 07-06-00184а, и Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 07-06-00109а.

длину. Отсюда следует, что информация о стимулах кодируется только соотношением компонентов вектора, которые взаимосвязаны следующими уравнениями:

$$x_{1i}^2 + x_{2i}^2 + \dots + x_{ni}^2 = R_i^2 \quad (1)$$

$$d_{ij}^2 = \sum_{k=1}^n (x_{ki} - x_{kj})^2 \quad (2)$$

Уравнение (1) фиксирует пространственные свойства модели, т. е. представление стимулов как точек сферы в n -мерном евклидовом пространстве (Фомин и др., 1979; Измайлов, 1980; Sokolov, Izmailov, 1983). Уравнение (2) выражает метрику модели, согласно которой воспринимаемое различие между стимулами измеряется как Евклидово расстояние между концами векторов, представляющими эти стимулы на сфере (Измайлов, 1980, 1981; Izmailov, 1982; Izmailov, Sokolov, 1991). Первая важная особенность такого представления субъективных различий состоит в том, что точки-стимулы заполняют не все евклидово пространство, а образуют в нем гладкую поверхность n -мерной сферы. По терминологии Р. Шепарда, это соответствует «циркулярности» внутренних репрезентаций (Shepard, 1987). Сферические координаты точек-стимулов обнаруживают строгую связь с субъективными переменными, которые традиционно используются в литературе по зрительному восприятию для спецификации этих стимулов. Например, пространство цветоразличения задано трехмерной сферой в четырехмерном евклидовом пространстве, в котором три сферические координаты цветовых точек, представляющих монохроматические стимулы, в точности соответствуют функциям, описывающим связь цветового тона и его насыщенности с длиной волны и интенсивностью светового излучения (Измайлов, 1980; Соколов, Измайлов, 1984; Izmailov, Sokolov, 1991). А пространство различения углов разной величины и ориентации задано сферой, в которой две сферические координаты точек, представляющих такие стимулы в трехмерном евклидовом пространстве, в точности соответствуют психофизическим функциям, описывающим связь воспринимаемых угловых характеристик с физическими (Измайлов, и др., 1988, 2000; Izmailov, Sokolov, 1990; Izmailov et al., 2001).

Вторая важная особенность сферической модели различения зрительных стимулов состоит в том, что система декартовых координат евклидова пространства, в котором размещаются точки-стимулы, рассматривается как набор нейрофизиологических каналов, из которых в зрительной системе формируется нейронная

сеть кодирования стимулов. Функции, описывающие связь декартовых координат точек-стимулов с физическими характеристиками, хорошо согласуются с электрической активностью отдельных звеньев зрительной системы. Например, в том же пространстве цветоразличения (Измайлов и др., 1998; Izmailov, Sokolov, 1991) четыре декартовы координаты цветовых точек, представляющих монохроматические стимулы, в точности соответствуют функциям, описывающим активность двух типов цветоопонентных клеток (так называемых *r-g* и *b-y* нейронов сетчатки и латерального колленчатого тела) и двух типов яркостных клеток (так называемых *on-* нейронов и *off-*нейронов сетчатки и латерального колленчатого тела, и *b-*нейронов и *d-*нейронов коры), обнаруженных в зрительной системе высших позвоночных (Michael, 1978; Супин, 1981; Valois de, Valois de, 1975; Wyszecski, Stiles, 1982). А в пространстве различения углов разной величины и ориентации (Измайлов, и др., 2004; Соколов, Измайлов, 2006) три декартовы координаты хорошо согласуются с характеристиками нейронов с простыми рецептивными полями, обнаруженных в зрительной коре высших позвоночных – детекторов ориентации линий и углов (Hubel, Wiesel, 1962; Шелепин, 1981; Супин, 1981; Shevelev et al., 1999; Шевелев и др., 2000).

Таким образом, в сферической модели взаимосвязываются в одну систему два зрительных механизма: механизм нейрофизиологического кодирования стимулов в зрительной системе представлен системой декартовых координат, а механизм декодирования нейрофизиологического кода в перцептивные характеристики зрительного образа представлен системой сферических координат.

Двухканальная нейронная сеть как базисный механизм (модуль) зрительной системы

Представление в рамках одной и той же математической модели нейрофизиологического и перцептивного механизмов различения разнообразных зрительных стимулов позволило выделить базисный механизм (двухканальный модуль) с помощью которого в зрительной системе специфицируется каждая субъективная переменная (Измайлов и др., 1998, 2006; Соколов, Измайлов, 1988; Izmailov, 1982). Математическое выражение этого модуля представлено уравнениями (1) и (2) для случая, когда $n = 2$. Графически эта модель представляет стимулы как точки окружности на евклидовой плоскости (рисунок 1а), субъективную переменную как угловую координату точки-стимула, а два канала нейрофизиологической сети кодирования стимула как две оси декартовой системы координат (рисунок 1б).

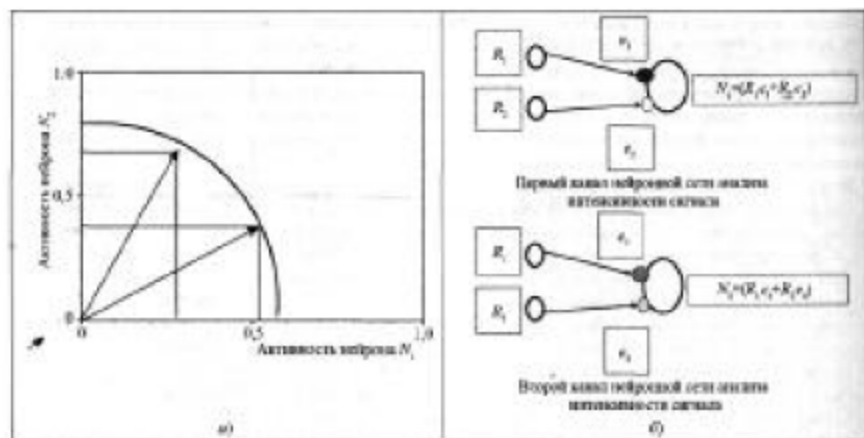


Рис. 1. Графическое представление математической модели сенсорного (а) и нейрофизиологического (б) механизмов различения зрительных стимулов

Два вектора представляют два стимула S_i и S_j . Ось абсцисс на графике – активность одного канала нейронной сети различения зрительных стимулов N_1 , а ось ординат – другого N_2 . Часть окружности, проходящая через концы векторов, задает множество стимулов как лежащих на ней точек. Каждая точка-стимул задана через уравнение сферы в двумерной декартовой системе координат. Каждый канал связан с не менее чем двумя рецепторами R_i и R_j через свои синаптические входы (e_j). Стимул S действует на рецепторы, и это воздействие передается на вход нейронов каждого канала. Здесь оно умножается на коэффициенты синаптической передачи, суммируется, и полученный результат (формула показана справа от канала) образует соответствующий компонент вектора на рисунке 1а. Каналы взаимосвязаны реципрокным отношением, так что, когда один канал в этой сети увеличивает свою активацию при возрастании стимульной величины (ось $N1$), то другой канал (ось $N2$) пропорционально уменьшает свою активацию, и, наоборот, при убывании стимульной переменной первый канал уменьшает свою активность, а второй – увеличивает. При этом общая активность модуля, представленная величиной радиуса окружности (1), остается всегда постоянной. Для анализа сложных многомерных стимулов зрительная система использует нейронную сеть, которая состоит из комбинации таких двухканальных модулей.

Представление в рамках одной и той же математической модели нейрофизиологического и сенсорного механизмов различения зрительных стимулов позволяет выделить данный двухканальный

модуль как базисный механизм, с помощью которого в зрительной системе может специфицироваться каждая субъективная переменная (Sokolov, Izmailov, 1983, 1988; Izmailov, Sokolov, 1991; Измайлов, Исайчев, Шехтер, 1998). Главная особенность этого модуля состоит в том, что он не связан непосредственно ни с кодируемым стимулом, ни с декодируемой сенсорной характеристикой. Он представляет собой некоторое устройство, которое может быть использовано для преобразования любого стимула в произвольную сенсорную характеристику. Например, частота вибрации воздуха или жидкости может быть декодирована в цвет, а частота электромагнитных колебаний в ориентацию линии. Специфика стимула определяется входным устройством двухканального модуля, а содержание кода, его сенсорное значение определяется специальным выходным устройством. Универсальность двухканального модуля позволяет комбинировать самые разные сочетания входных и выходных устройств зрительной системы, формируя необходимый набор сенсорных устройств для получения достаточной информации о внешней среде. Каждое такое устройство будет содержать три звена: входное, рецепторное звено, двухканальный модуль и выходное, детекторное звено.

Структура сложной сети может быть самой разной, в зависимости от того, как скомпонованы двухканальные модули. Но в составе этой сложной сети выделяется три этапа или три стадии переработки сенсорной информации в зрительной системе как человека, так и других позвоночных. Например, нейронная сеть цветового кодирования у позвоночных с трихроматическим зрением состоит из двух двухканальных модулей, один из которых анализирует спектральный состав светового излучения и преобразует его в цветовой тон (так называемая хроматическая система цветового зрения), а другой – анализирует интенсивность светового излучения и преобразует его в светлоту (так называемая ахроматическая система цветового зрения). У высших позвоночных эти два модуля объединены в общую четырехканальную сеть, в которой сохраняется взаимосвязь между каналами, выраженная уравнением (1) при $n = 4$.

На рисунке 2 представлена схема нейронной сети цветового зрения человека. На первой стадии три типа рецепторов L , M , S экстрагируют интенсивность данного светового излучения в длинно-, средне- и коротковолновом участках видимого спектра. На следующей стадии эта информация передается на два двухканальных модуля, аналогичных по своему строению модулю, представленному на рисунке 1б. Верхний модуль состоит из двух типов так называемых цветоопponentных (r - g и b - y) клеток зрительной системы,

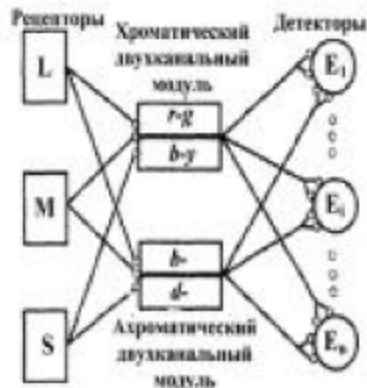


Рис. 2. Схема трехстадийной нейронной сети цветового зрения человека

и представляет хроматический механизм цветового зрения. Здесь формируется информация о цветовом тоне данного излучения. Нижний модуль состоит из неоппонентных световых и темновых b -клеток и d -клеток и представляет ахроматический механизм цветового зрения, в котором формируется информация о светлоте данного излучения. На третьей, детекторной стадии, информация от ахроматического и хроматического механизмов интегрируется в виде активности селективного нейрона-детектора. Главная особенность нейронов-детекторов состоит в том, что коэффициенты преобразования сигнала у синапсов, связывающих каждый нейрон-детектор с двухканальными модулями, подчиняются уравнению сферы (1). Это обеспечивает селективность нейрона-детектора по отношению к множеству разнообразных излучений. Дополнительным фактором такой интеграции является формирование субъективной трехмерности цвета в виде цветового тона (хроматический модуль), светлоты (ахроматический модуль) и сформированной вследствие уравнения (1) насыщенности. Вследствие этого декодирование излучения в четырехканальной сети приводит к появлению еще одной, дополнительной переменной в виде цветовой насыщенности (Izmailov, Sokolov, 1991; Соколов, Измайлов, 1984). В то же время у таких низших позвоночных, как травяная лягушка, эти же два модуля работают по отдельности, поэтому при различении гомогенных световых полей разного спектрального состава зрительная система лягушки не выделяет насыщенности цвета, а различает стимулы только по цветовому тону и светлоте (Зимачев и др., 1986, 1991; Измайлов и др., 2006).

Еще один вариант комбинации двух двухканальных модулей в общую сеть демонстрирует нейронная сеть, анализирующая угол,

образованный двумя пересекающимися лучами во фронтальной плоскости зрительного поля. Она также состоит из двух двухканальных модулей, один из которых детектирует величину угла между лучами (0–180°), а второй – ориентацию по углу наклона биссектрисы этой фигуры: (0–360°). В работах (Измайлов и др., 1988, 2004; Izmailov, Sokolov, 1990) было показано, что каждый из этих модулей по отдельности представляет соответствующую субъективную переменную (воспринимаемую величину угла и воспринимаемую ориентацию фигуры) своей сферической координатой.

Однако в опытах, где испытуемые оценивают различия между этими же стимулами, когда варьируются одновременно и величина угла и его ориентация, получается трехмерное евклидово пространство, в котором две сферические координаты сохраняют свою связь со стимульными характеристиками, а два двухканальных модуля, объединяясь, образуют трехканальную сеть (Измайлов, Чу-

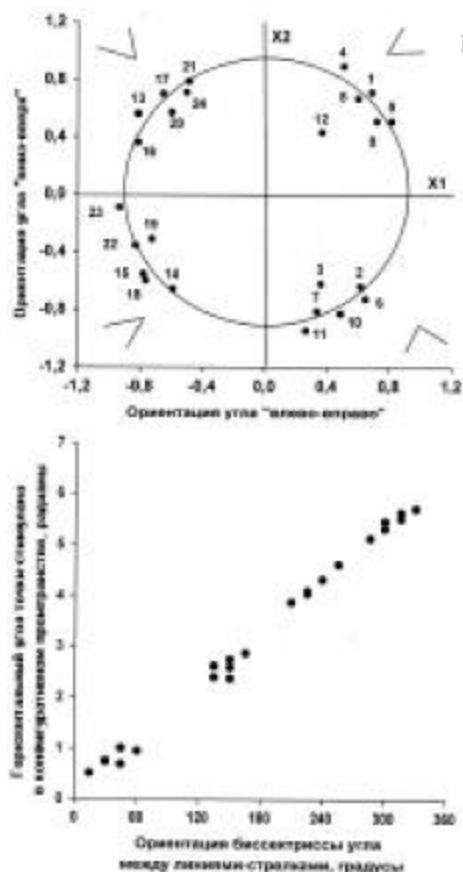


Рис. 3. а) Двумерное подпространство ориентации (направление биссектрисы угла) 24 стимулов-углов разной величины и ориентации, полученное как проекция трехмерного пространства на плоскость осей X1X2. Одна ось этого пространства (X1) характеризует ориентацию стимула по горизонтали – «наклон влево или вправо», а вторая ось (X2) – оппонентность по вертикали «наклон вверх – наклон вниз». Окружность показывает, что точки располагаются на плоскости в прямом соответствии их сферической координаты значению ориентации стимула-угла. Степень этого соответствия показывает график на рис. 3б, где по оси абсцисс отложена ориентация (биссектриса угла-стимула по отношению к горизонтали) в градусах, а по оси ординат – сферическая координата соответствующей точки также в градусах

дина, 2005). Это демонстрируют графики на рисунке 3. На рисунке 3 а положение точек на плоскости определяется двумя оппонентными декартовыми осями, представляющими двухканальную сеть детекции ориентации «угла» (фмгуры, образованной двумя линиями с общей вершиной). Два канала, детектирующие ориентацию фигуры, связаны между собой уравнением сферы, поэтому все точки-стимулы располагаются на одной окружности в строгом соответствии с ориентацией данного паттерна. Это показывает график зависимости первой сферической координаты точки-стимула, измеренной как горизонтальный угол точки на плоскости, от биссектрисы «угла», характеризующей зрительную ориентацию стимула (рисунок 3б). На рисунке 4а положение точек на плоскости также определяется двумя оппонентными каналами, один из которых (ось X1) совмещен с оппонентным каналом модуля ориентации, а другой (ось X3) – остался независимым, и здесь также два канала, детектирующие

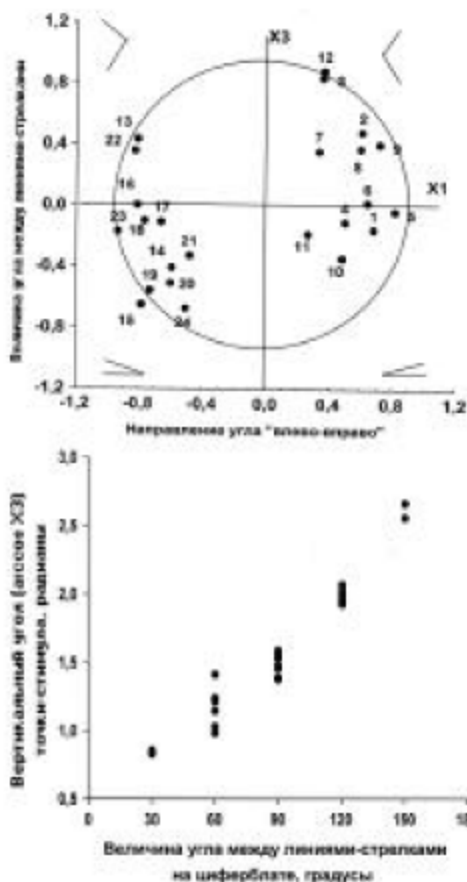


Рис. 4. а) Двумерное подпространство величины угла, полученное как проекция 24 точек, представляющих стимулы-углы в трехмерном пространстве, на плоскость осей X1X3. Одна ось этого пространства (X1) характеризует оппонентность горизонтального направления биссектрисы угла «наклон влево – наклон вправо», а другая ось (X3) – величину стимула-угла. Окружность показывает, что точки располагаются на плоскости в прямом соответствии их сферической координаты углу стимула. Степень этого соответствия показывает график на рис. 4б, где по оси абсцисс отложена величина стимула-угла в градусах, а по оси ординат – сферическая координата соответствующей точки также в градусах

величину угла фигуры, связаны между собой уравнением сферы, как это показывает график зависимости второй сферической координаты точки-стимула, измеренной как вертикальный угол точки на плоскости Х1Х3 (рисунок 4б).

Таким образом, из двух двухканальных модулей образовалась трехканальная сеть кодирования двух независимых характеристик стимула. Трехмерность полученного решения (уравнение (1) при $n = 3$) явилась следствием такого процесса объединения двух двухканальных модулей в общую сеть, при котором модуль ориентации вошел в сеть обоими каналами, а модуль величины угла только одним каналом. Графически объединение этих модулей можно представить как пересечение двух евклидовых плоскостей в трехмерном пространстве, в котором одна сферическая координата представляет ориентацию угла во фронтальном поле зрения, а другая сферическая координата представляет величину угла. Приведенные примеры показывают, что в зрительной системе, скорее всего, не существует общего принципа соединения отдельных двухканальных модулей в более сложную многомерную сеть, как это предусматривается в широко распространенных иерархических теориях зрительного восприятия.

Метод мгновенной смены стимулов

В связи с тем что важнейшей характеристикой сферической модели различения стимулов является представление не только психофизических, но и нейрофизиологических характеристик зрения, особое место в излагаемом здесь подходе занимает электрофизиологическое измерение межстимульных различий. Субъективные оценки различий между стимулами представляют собой итоговый результат активности всех нейронных сетей зрительной системы, участвующих в процессах кодирования физических характеристик стимула и декодирования электрофизиологического кода в феноменальный образ. Чтобы понять общее устройство зрительной системы различения, необходимо выделить вклады отдельных звеньев в эту интегральную оценку межстимульного различия.

Для электрофизиологического измерения межстимульных различий нами разработана модификация метода мгновенной смены стимулов (Бонгард, 1955), получившего в англоязычной литературе название *stimuli exchange* или *silent substitution* (Forbes et al., 1955, Estevez, Spekreijse, 1974, 1982). Важной особенностью этого метода является смена стимула на себя самого, когда референтный и тестовый стимул физически одинаковы. В этом случае нулевая реакция рассматривается как показатель фоновой активности, по отношению

к которому оценивается реакция зрительной системы на ненулевое стимульное различие. Далее, два стимула могут не различаться участком зрительной системы, где регистрируется ее активность, хотя физически стимулы могут быть разными. И в этом случае, варьируя тестовый стимул в ретинограммах (ЭРГ), полученных в ответ на мгновенную смену, в пороговой зоне референтного, добиваются реакции зрительной системы, которая также не отличается от фоновой. Такую реакцию называют показателем физиологического равенства стимулов (Бонгард, 1955, Forbes, 1955). Если же зрительная система стимулы различает, то в момент смены будет наблюдаться изменение активности, как показывают данные (Зимачев и др., 1986, 1991; Измайлов и др., 1998, 2003, 2004, 2007): чем больше различаются стимулы, тем больше амплитуда определенных компонентов электроретинограммы, или усредненного вызванного потенциала (УВП) (рисунок 5)

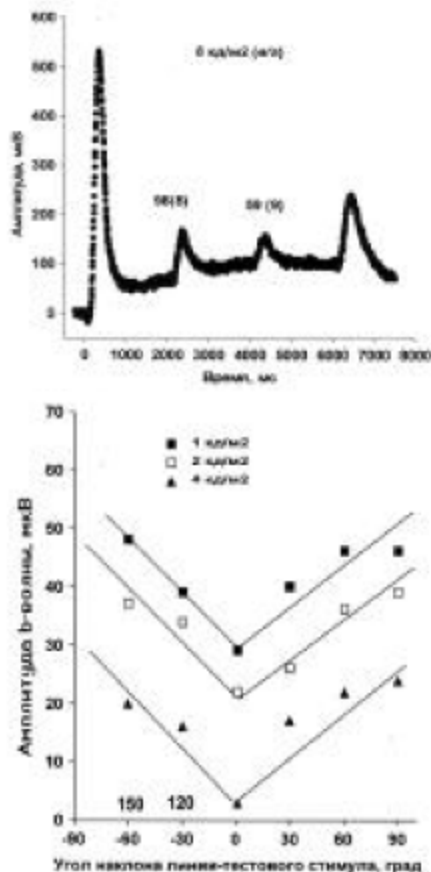


Рис. 5. а) Электроретинограмма, зарегистрированная в сетчатке лягушки в ответ на мгновенную смену вертикальной линии на горизонтальную, и наоборот. Первый пик представляет b-волну ЭРГ – ответ на включение стимула (светлой, тонкой линии на темном фоне), второй пик, через две секунды – ответ на смену вертикальной линии на горизонтальную, третий пик, еще через две секунды – ответ на обратную смену, и четвертый пик – ответ на выключение стимула, d-волну. б – график, представляющий V-образные функции изменения амплитуды b-волны ЭРГ (ось ординат) в зависимости от различия между референтным (горизонтальная линия яркостью 1 кд/м²) и тестовыми стимулами, линиями, меняющимися по яркости и по ориентации (ось абсцисс)

Этот метод особенно эффективен для исследования зрительной системы животных, когда стимулы варьируются одновременно по нескольким характеристикам. В отличие от человека, который может длительно сосредотачивать внимание на указанной экспериментатором характеристике стимула, животное реагирует на всю стимульную ситуацию. Вследствие этого в таких интегральных реакциях зрительной системы, как вызванные потенциалы сетчатки на электроретинограмме (ЭРГ) или УВП коры головного мозга, вклад, связанный с исследуемыми стимульными характеристиками, зашумляется не только случайными, но и систематическими изменениями активности нервных сетей.

В этом случае есть возможность получить серию V-образных функций, которые отображают индивидуальный вклад каждой из варьируемых стимульных переменных в интегральный ответ зрительной системы. Этот факт послужил основанием для модификации метода мгновенной замены, состоящей в использовании серии тестовых стимулов, которые монотонно меняются в обе стороны от референтного по выбранному исследователем параметру). Функция, связывающая величину электрофизиологического ответа зрительной системы с величиной различия между референтным и тестовыми стимулами, имеет V-образную форму с минимумом в области порогового различия между тестовым и референтным стимулом. На рисунке 5 б величина тестового стимула на оси абсцисс представлена точкой минимума V-образной функции и равна в этом случае величине референтного стимула. Применение этого подхода к анализу ЭРГ лягушки (Зимачев и др., 1986, 1991; Измайлов и др., 2005, 2006; Измайлов и Зимачев, 2007) и зрительных вызванных потенциалов у человека (Измайлов и др., 1998, 2000, 2004; Izmailov et al., 2001, 2005) показало, что даже в таких интегральных реакциях как ЭРГ и ВП, которые отражают активность множества разнообразных и непрерывно функционирующих нейронных сетей, можно строго выделить отдельные составляющие сложного многомерного стимула, по которым зрительная система человека и животных различает стимулы. В связи с этим V-образные функции различения дают основной материал в исследовании зрительной системы как в содержательном плане, при анализе феноменов и механизмов зрения, так и в методическом плане в качестве основы для единого подхода к получению однотипных экспериментальных данных в исследованиях зрения человека и животных.

Вызванный потенциал различения (ВПП) зрительных стимулов

Первая задача, которая была поставлена при исследовании этим методом зрительной системы человека, состояла в выявлении возможности спецификации отдельных компонентов вызванного потенциала различения (ВПП), характеристики которых (амплитуда, латенция и т.д.) могли бы служить электрофизиологическими мерами межстимульных различий. Применяя модифицированный метод мгновенной замены стимулов к различным видам зрительной стимуляции, мы обнаружили, что ранние компоненты вызванного потенциала различения (до 120 мс) связаны с так называемыми, энергетическими характеристиками зрительного стимула, такими как спектральный состав и интенсивность светового излучения. Это согласуется с результатами регистрации УВП в ответ на предъявление одиночного светового стимула. На рисунке 6 приводится образец ВПП, полученного в ответ на мгновенную смену стимулов с указанием знака и примерной латенции основных компонентов. Наиболее выраженными в данном потенциале являются два позитивных и два негативных пика. В ряде работ (Riggs, Sternheim, 1969; Paulus et al., 1984) показано, что амплитуда пика $N1$ ($N90$) монотонно увеличивается с увеличением хроматического различия между стимулами, а амплитуда пика $P1$ ($P120$) также монотонно увеличивается с увеличением яркостного различия. В наших опытах мы регистрировали ВПП в затылочных (O_1 и O_2) и задневисочных (T_s и T_o) отведениях, и получили более детальную информацию об этих компонентах (Измайлов и др., 1998, 2000). Пиковая амплитуда компонента m высоко коррелирует с межпиковой амплитудой $N1P1$. Амплитуды следующих компонентов ВПП монотонно связаны с конфигурационными различиями между стимулами, представляющими собой отдельную линию (11) или комбинацию нескольких линий (линейный паттерн) (8). Амплитуда компонента $P1$ коррелирует с межпиковой амплитудой $P1N2$, а амплитуда пика $N2$ – с межпиковой амплитудой $N2P3$. В наших работах мы обычно анализируем межпиковые амплитуды, которые более устойчивы и по латенции, и по амплитуде. Анализ связи пиковых и межпиковых амплитуд ВПП с изменением хроматического и ахроматического различия между стимулами показал, что пиковая амплитуда компонента $N1$ и межпиковая амплитуда $N1P1$ связаны как с хроматическим, так и с ахроматическим различием. Поэтому их нельзя рассматривать как специфические яркостные или цветовые компоненты. Их специфика состоит только в том, что они реагируют на изменение воздействия светового

излучения во всех случаях, меняется ли спектральный состав излучения или его интенсивность, или и то и другое одновременно. Обе эти амплитуды удовлетворяют метрическим аксиомам, приведенным в уравнениях (3) и (4). После анализа матриц попарных амплитуд методом многомерного шкалирования для обоих компонентов было построено цветовое пространство, во всех отношениях аналогичное тому, которое было получено на основе оценок субъективных различий (Измайлов и др., 1998; Izmailov, Sokolov, 2004).

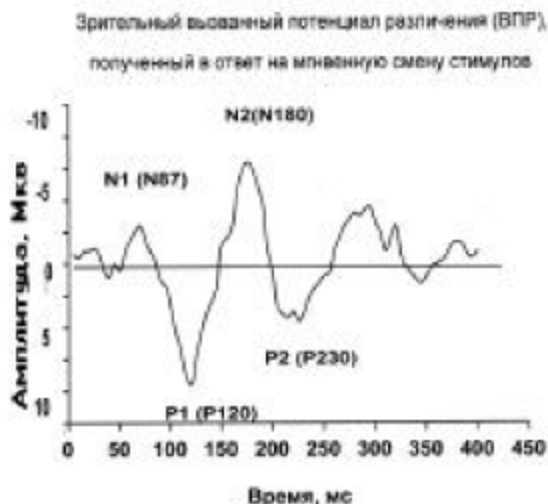


Рис. 6. Пример зрительного вызванного потенциала различения, полученного в ответ на мгновенную смену стимулов

Наибольшую специфичность обнаруживает пиковая амплитуда P1 (P120). Но амплитуда этого компонента существенно асимметрична. При мгновенном увеличении яркостного различия она возрастает, причем независимо от длины волны. Но при обратном изменении яркости (декременте) амплитуда меняется незначительно. На этом основании мы полагаем, что этот компонент не связан с работой механизма цветового зрения, а скорее всего, отражает работу механизмов, детектирующих пространственное и временное распределение интенсивности света в поле зрения, необходимое для восприятия формы, движения, локализации и т. д.

Амплитуды следующих компонентов ВЗРП монотонно связаны с конфигурационными различиями между стимулами, представляющими собой отдельную линию (Измайлов и др., 2004) или комбинацию нескольких линий (линейный паттерн) (Измайлов и др., 2000; Izmailov, et al., 2005). Это относится к межпиковой амплитуде P1N2,

амплитуде пика $N2$ и межпиковой амплитуде $N2P2$. Интересно, что при различении конфигураций (как простых в виде отдельной линии, меняющейся по ориентации или длине, так и более сложных в виде схематического лица или псевдослова, составленного случайным образом из букв).

Анализ V-образных функций различения методом многомерного шкалирования

Серия V-образных функций, полученная при регистрации ВПР в ответ на взаимозамену n стимулов, каждый из которых выполняет по очереди роль референта, дает квадратную матрицу значений амплитуд ВПР. Каждая строка этой матрицы представляет значения V-образной функции, полученной для соответствующего стимула, использованного в данной серии как референт. По главной диагонали этой матрицы располагаются значения, полученные при замене стимула на себя самого. Они характеризуют нулевое различие

$$D_{ii} = D_{jj} = 0 \quad (3)$$

и соответствуют значениям фоновой ЭЭГ, которая показывает уровень шума при регистрации ВПР. По обе стороны от главной диагонали матрицы располагаются значения, характеризующие реакции на взаимозамену пары стимулов i и j . Эти данные позволяют проверить симметричность регистрируемых мер межстимульного различия:

$$D_{ij} = D_{ji} \quad (4)$$

Уравнения 3 и 4 дают возможность перейти от матрицы электрофизиологических мер различения стимулов к матрице действительных чисел, которая имеет нулевые элементы по главной диагонали и, соответственно, положительно полуопределена. По теореме Янга и Хаусхольдера (Терехина, 1986; Измайлов, 1980) это означает, что межстимульные различия соответствуют расстояниям между точками (стимулами), расположенными в действительном евклидовом пространстве. Размерность k этого пространства определяется числом положительных собственных значений матрицы скалярных произведений, вычисленной из исходной матрицы межстимульных расстояний. Факторизация матрицы скалярных произведений дает значения координат точки по каждой из k осей.

Поскольку k -мерное пространство точек-стимулов получено на основе только межточечных расстояний, оно произвольно относительно положения начала осей координат и их ортогонального вращения. Поэтому были разработаны разные варианты решения, фиксирующие эти два условия. Наибольшую известность получили алгоритмы, основанные на идеях Шепарда и Крускала (Kruskal, 1964;

Shepard, Carrokll, 1966). Детальные обзоры этих методов на русском языке можно найти в ряде работ (Шепард, 1981; Терехина, 1986; Дэйвисон, 1988).

В наших работах применяются алгоритмы, основанные на сферической модели различения. Детальное описание этих алгоритмов приводится в наших работах (Измайлов, 1980; Соколов, Измайлов, 1984). Качество окончательного решения оценивается по нескольким параметрам (Shepard, 1964). Размерность и метричность полученного пространства (степень соответствия межточечных расстояний исходным мерам межстимульных различий) оцениваются через коэффициент линейной корреляции Пирсона и «стресс» Крускала. Сферичность конфигурации точек в пространстве оценивается коэффициентом вариации радиус-векторов точек-стимулов.

V-образные функции позволяют выявить и измерить по отдельности вклады стимульных переменных в амплитуду компонента ВПР, тем самым решается задача установления взаимосвязи между стимулом и нейронной сетью кодирования этого стимула и задача установления взаимосвязи между электрофизиологическими характеристиками нейронной сети и субъективными переменными, характеризующими зрительный образ стимула.

Заключение

Полученные в наших исследованиях данные ВПР и ЭРГ и проведенный анализ этих данных позволяет сформулировать следующие положения.

Основным сенсорным механизмом различения и спецификации стимулов в зрительной системе позвоночных является трехуровневая нейронная сеть, математическое выражение которой представлено сферической моделью различения сигналов. Первый, входной уровень сети составляют рецепторы, которые собирают информацию по всему зрительному полю стимуляции, второй уровень составляют два оппонентных канала, связанных тормозными взаимодействиями (двухканальный модуль), и третий, выходной уровень – селективные нейроны, составляющие мозговую карту сферической (циркулярной) спецификации стимулов.

Выделено два типа сенсорных механизмов в зависимости от устройства входного уровня. Для энергетических стимулов, таких как интенсивность и частота светового излучения, входной уровень сети формируется из фоторецепторов сетчатки, тогда как для конфигурационных стимулов, определяющих пространственную форму, этот уровень формируется из нейронов-детекторов ориентации.

Сенсорный механизм состоит из одного или нескольких двухканальных модулей в зависимости от размерности карты сферической спецификации стимулов. Активность этого механизма является основанием для субъективного различения стимулов зрительной системой человека и животных, и субъективные оценки межстимульных различий, которыми оцениваются изменения в зрительном поле, базируются непосредственно на работе этого механизма.

Зрительные вызванные потенциалы отражают активность множества нейронных сетей, одновременно детектирующих самые разные характеристики стимулов, в связи с чем в амплитудных и временных показателях ЗВП отражаются только интегральные (неспецифические) изменения активности регистрируемых областей коры головного мозга. Соответственно, из показателей ЗВП можно получить информацию о такой важной интегральной характеристике как надпороговое различие между стимулами. В данной работе выделены две такие характеристики: энергетическая (спектральный состав и интенсивность светового излучения) и конфигурационная (временная или пространственная неоднородность энергетических характеристик в поле зрения) – и показано, что эти интегральные характеристики отражаются в амплитудах компонентов ЗВП как монотонная функция от величины межстимульного различия. В соответствии с таким подходом вызванный потенциал, регистрируемый в ответ на различие между стимулами, обозначили вызванным потенциалом различения (ВПР).

Структура нейронной сети различения «сложных» зрительных стимулов («верхний» уровень сети, уровень сферического картирования стимулов) не составляется из исходных двухканальных модулей («нижний» уровень сети, уровень детектирования признаков) путем их сложения в цепь из отдельных звеньев, а определяется размерностью (числом каналов) нейронной сети этого «верхнего» уровня. Иначе говоря, формирование сложной сети в зрительной системе идет не «снизу вверх», как в двухканальном модуле, а «сверху вниз». Выдвигается гипотеза, что механизм, определяющий организацию нейронной сети различения «сложных» стимулов из двухканальных модулей, устроен не по психофизическому, а по языковому принципу. В этом случае двухканальные модули детекции первичных признаков выступают в роли элементов зрительного алфавита, а «верхний» уровень сети, где эти признаки объединяются в виде целостного предметного образа, выступает в роли «зрительного слова». Такая организация нейронной сети кодирования сложных стимулов объясняет, почему нет единого правила для объединения «простых» двухканальных модулей в «сложную» сеть.

ЛИТЕРАТУРА

- Bongard M. M. Колориметрия на животных // ДАН СССР. 1955. Т. 103. № 2. С. 239–242.
- Дэйвисон М. Многомерное шкалирование. М.: Статистика и финансы, 1988.
- Зимачев, М. М., Шехтер, Е. Д., Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А. Хроматическая составляющая электроретинограммы лягушки // Журнал ВНД. 1986. Т. 36. № 6. С. 1100Ц1107.
- Зимачев М. М., Шехтер Е. Д., Соколов Е. Н., Наатанен Г., Ниман Р., Измайлов Ч. А. Различение цветовых стимулов сетчаткой лягушкой // Журнал ВНД. 1991. Т. 41. № 3. С. 518–527.
- Измайлов Ч. А., Зимачев М. М. Детекция бимодальных стимулов в сетчатке лягушки // Журнал ВНД. 2007. Т. 57. № 1. С. 105–120.
- Измайлов Ч. А. Сферическая модель цветоразличения. М. Изд-во Моск. ун-та, 1980.
- Измайлов Ч. А. Многомерное шкалирование ахроматической составляющей цвета // Нормативные и дескриптивные модели принятия решений / Под ред. Б. Ф. Ломова и др. М.: Наука, 1981. С. 98–110.
- Измайлов, Ч. А., Ласточкина М. Н., Полянская Г. Н., Соколов Е. Н. Различение линий и углов зрительной системой // Вестник Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 1988. Вып. 1. С. 41–50.
- Измайлов Ч. А., Исайчев С. А., Шехтер Е. Д. Двухканальная модель различения сигналов в сенсорных системах // Вестник Моск. ун-та. 1998. Сер. 14. Психология. № 3. С. 29–40.
- Измайлов Ч. А., Исайчев С. А., Коршунова С. Г., Соколов Е. Н. Цветовой и яркостный компоненты зрительных вызванных потенциалов у человека // Журнал ВНД. 1998. Т. 48. № 5. С. 777–787
- Измайлов Ч. А., Коршунова С. Г., Соколов Е. Н. Связь зрительных вызванных потенциалов с субъективными различиями между эмоциональными выражениями схематического лица // Журнал ВНД. 2000. Т. 50. № 5. С. 805–818
- Измайлов Ч. А., Соколов Е. Н., Коршунова С. Г., Чудина Ю. Геометрическая модель различения ориентаций линии, основанная на субъективных оценках и зрительных вызванных потенциалах // Журнал ВНД. 2004. Т. 54. № 2. 267–279.
- Измайлов Ч. А., Зимачев М. М., Соколов Е. Н., Черноризов А. М. Двухканальная модель ахроматического зрения лягушки // Сенсорные системы. 2006. Т. 20. № 1. С. 1–11.
- Линдсей П., Норман А. Переработка информации у человека. М.: Мир. 1974.
- Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А. Цветовое зрение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984.
- Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А. Трехстадийная модель цветового зрения // Сенсорные системы. 1988. Т. 2. № 4. С. 400–407.

- Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А. Вызванные потенциалы в сферической модели когнитивных процессов // *Нейрокомпьютеры: разработка и применение*. 2006. № 4–5. С. 90–105
- Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А., Завгородняя В. Л. Многомерное шкалирование знаковых конфигураций // *Вопросы психологии*. 1985. Вып. 1. С. 131–140.
- Супин А. Я. *Нейрофизиология зрения млекопитающих*. М.: Наука. 1981.
- Терехина А. Ю. Анализ данных методом многомерного шкалирования. М.: Наука, 1986.
- Фомин С. В., Соколов Е. Н., Вайткявичус Г. Г. *Искусственные органы чувств*. Л.: Наука, 1979.
- Шевелев И. А., Каменкович В. М., Шараев Г. А. Относительное значение линий и углов геометрических фигур для их опознания человеком // *Журнал ВНД*. 2000. Т. 50. № 3. С. 403–409
- Шелепин Ю. Е. Ориентационная избирательность и пространственно-частотные характеристики рецептивных полей нейронов затылочной коры кошки // *Нейрофизиология*. 1981. Т. 13. № 3. С. 227–232.
- Шепард Р. Многомерное шкалирование и неметрические представления // *Нормативные и дескриптивные модели принятия решений / Под ред. Б. Ф. Ломова и др.* М.: Наука. 1981. С. 84–97.
- Estevez O. Spekrijse H. Relation between pattern appearance-disappearance and pattern reversal responses // *Exp. Brain Res*. 1974. V. 19. P. 233–236.
- Estevez O. Spekrijse H. The «silent substitution» method in visual research // *Vision Res*. 1982. V. 22. No 6. P. 681–691.
- Forbes A., Burleigh S. Neyland M. Electric responses to color shift in frog and tortilla retina // *J. of Neurophysiology*. 1955. V. 18. 517–535
- Hubel D. N., Wiesel T. N. Receptive fields. binocular integration and functional architecture in the cat's visual cortex // *J. Physiology*. 1962. V. 160. P. 106–154.
- Izmailov Ch. A. Uniform Color Space and Multidimensional scaling {MDS} // *Psychophysical Judgement and the Process of Perception / Ed. H. G. Geissler and F. Petsold*. Berlin. VEB Deutcher Verlag der Wissenschaften. 1982. P. 52–62.
- Izmailov Ch. A. Dual-channel sensory mechanism of stimuli discrimination // *Proceedings of XII Triennial Congress of the International Ergonomics Association / Tampere*. Finland. 1997. V. 5. P. 347–349.
- Izmailov Ch. A., Sokolov E. N. Multidimensional scaling of lines and angles discrimination. // *Psychophysical Explorations of Mental Structures / Ed. H. G. Geissler*. Toronto-Bern-Stuttgart. Hogrefe and Huber Publishers. 1990. P. 181–189.
- Izmailov Ch. A., Sokolov E. N. Spherical model of color and brightness discrimination // *Psychological Science*. 1991. V. 2. P. 249–259
- Izmailov Ch. A., Sokolov E. N. Subjective and Objective Scaling of Large Color Differences // *Psychophysics beyond sensation. Laws and Invariants of human*

Cognition / Eds. C. Kaernbach. E. Schroger. H. Muller. Mahwah-New Jarsy-London. Lawrence Erlbaum Associates. 2004. P. 27–42.

- Izmailov Ch. A., Korshunova S. G., Sokolov E. N.* Relationship between visual evoked potentials and subjective differences between emotional expressions in «face diagrams» // *Neuroscience & Behavioral Physiology*. 2001. V. 31. P. 529–538.
- Izmailov Ch. A., Sokolov E. N., Korshunova S. K.* Multidimensional scaling of schematically represented faces based on dissimilarity estimates and evoked potentials of differences (EPD) amplitudes // *The Spanish Journal of Psychology*. 2005. V. 8. № 2. P. 119–133.
- Kruskal J. B.* Nonmetric multidimensional scaling. A numerical method // *Psychometrika*. 1964. V. 29. № 1–2.
- Michael Ch. R.* Color vision mechanisms in monkey striate cortex: dual-opponent cells with concentric receptive fields // *J. Neurophysiology*. 1978. V. 41. P. 572–588.
- Riggs L. A. and Sternheim C. E.* Human retinal and occipital potentials evoked by changes of the wavelength of the stimulating light // *J. Opt. Soc. Am.*, 1969. V. 59. № 5. P. 635–640.
- Paulus W. M., Homberg V., Cuninghame K., Halliday A. and Ronde N.* Color and brightness components of foveal visual evoked potentials in man // *Electroencephalography and Clinic. Neurophysiol.* 1984. V. 58. P. 107–119.
- Shepard R. N.* Attention and the metric structure of the stimulus space // *J. of Mathemat. Psychol.* 1964. V. 1. P. 54–87.
- Shepard R. N.* Towards a universal law of generalization for psychological space // *Science*. 1987. V. 237. P. 1317–1323.
- Shepard R. N., Carroll J. D.* Parametric representation of nonlinear data structures // *Multivariate analysis* (Ed. P. R. Krishnaiah). 1966. N. Y. Acad. Press. P. 561–592.
- Shevelev I. A., Lazareva N. A., Sharaev G. A.* Interrelation of tuning characteristics to bar. cross and corner in striate neurons // *Neuroscience*. 1999. V. 88. P. 17–25.
- Sokolov E. N., Izmailov. Ch. A.* The Conceptual Reflex Arc: A Model of Neural Processing as Developed for Color Vision // *Modern Issues of Perception / H. G. Geissler. ed.* Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften. 1983. P. 192–216.
- Valois de R. L., Valois de K. K.* Neural coding of color // *Handbook of Perception*. V. 5. Seeing. N. Y. Wiley. 1975. P. 117–166.
- Wyszecki G. and Stiles W. S.* Color science: concepts and methods. Quantitative data ad formulae (2d ed.) N. Y.: Wiley, 1982.

ГЛАВА 17

ОЦЕНКА РАССТОЯНИЯ В ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТАХ КАК ПСИХОФИЗИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

Исследования пространственных представлений имеют особое значение в психологии, поскольку именно они являются основой для планирования и реализации деятельности*. Первые работы в этой области появились еще в конце XIX–начале XX вв. (Trowbridge, 1913; Шемякин, 1940), пик исследований пришелся на 70–80-е годы XX в. (Якиманская, 1980; Liben, 1986; Olson, Bialystok, 1983), однако и в XXI в. интерес к данной проблематике не угас. В наши дни он получает новое развитие в контексте робототехники и необходимого взаимодействия человека и робота, разворачивающегося в пространстве Земли и космоса (Fournier-Viger et al., 2007; Kennedy et al., 2007). Возможно, главный вопрос, волнующий исследователей, всегда заключался в установлении соответствия параметров внешнего пространства и субъективных представлений о нем (Evans, 1980; Eilam, McCarthy, Brewer, 1993; Newcombe, Huttenlocher, 2000). В такой формулировке это выступает как классическая психофизическая проблема.

В качестве исследовательских методик в данном направлении использовались прямые и косвенные процедуры реконструкции субъективного пространства (Величковский, Блинникова, Лапин, 1986). Разделение достаточно условно. Методы прямой реконструкции предполагают выявление характеристик ментальных пространственных представлений через различные приемы, такие как зарисовки, составление макетов, достижение целей в реальном

* Это утверждение не вызывает сомнений, когда речь идет о практической деятельности, развертываемой во внешнем пространстве, однако пространственные представления, скорее всего, лежат в основе и ментальной деятельности, и процесса общения (Геррманн, Граф, 1997; Петухов, 1984; Eilam, McCarthy, Brewer, 1993; Thorndyke, Goldin, 1983).

пространстве (Blades, 1997; Williams et al., 2007). Такая непосредственная экстериоризация имеет свои преимущества, в частности, отвечает требованиям экологической валидности, поскольку испытуемый выполняет знакомые и естественные задачи. Однако в процессе решения этих задач постоянно поступает объективная обратная связь, которая позволяет корректировать действия. В некотором роде можно считать, что использование методов прямой реконструкции в равной мере формирует пространственные представления и тестирует их. Во многих исследованиях была показана зависимость характеристик пространственных представлений от используемой задачи (Петухов, 1984; Landau, Spelke, 1985; Klatzky et al., 1998).

Процедуры косвенной реконструкции связаны с метрическим и порядковым шкалированием расстояний, сравнением в триадах, триангуляцией, оценкой проективной конвергенции. При этом испытуемые стоят перед задачей мысленного сканирования пространственного представления для того, чтобы оценить расстояния между отдельными локусами или их взаимоположение. Подобные задачи оцениваются как более сложные. Испытуемые вынуждены работать только со своими пространственными представлениями без опоры на внешние средства и объективную обратную связь. Полученные оценки обычно обрабатываются с помощью специальных методов математической статистики.

Достаточно часто используется процедура многомерного шкалирования, предложенная Р. Шепардом (Shepard, 1962, 1978). Этот метод позволяет выявить степень соответствия между субъективным образом и физическим стимулом. При этом базисные субъективные признаки образа выявляются независимо от их физических коррелятов. Испытуемых просят оценить расстояния между объектами и на этом их участие заканчивается. Расстояния могут оцениваться либо в метрических (сантиметры, метры, километры), либо в условных единицах. И в том, и в другом случае речь идет об относительной оценке (в определенной системе отсчета). Могут использоваться процедуры диадического и триадического сравнения. Дальнейшая математическая обработка позволяет определить размерность пространства, наилучшим образом описывающую локализацию точек в n -мерном пространстве, на основе которых создается карта, отражающая ментальное представление (подробнее см.: Дэйвисон, 1988; Терехина, 1986).

Метод имеет ряд ограничений, которые обсуждаются в литературе (Kaski, 1997), однако с успехом используется для исследования пространственных представлений в течение 30 лет (Newcombe, Huttenlocher, 2000). Он позволяет не только количественно оценить

точность представления человека о пространстве, но и найти качественные основания для его описания (например, связанность внутреннего образа), а также дает возможность изучать индивидуальное «субъективное пространство», что приобретает в некоторых случаях особое значение (Блинникова, Капица, Барлас, 2000; Терехина, 1983).

Пространственные представления: поиски психофизических соответствий

В 1961 г. была опубликована книга К. Линча «Образ города», которая стала исходной точкой для многочисленных исследований представлений о географическом пространстве. К. Линч привел данные своего эксперимента, в котором он просил испытуемых нарисовать участок городской территории. Анализ нарисованных от руки набросков показал, что «когнитивные карты»^{*} города отражают лишь основные элементы городских кварталов. Было выделено 5 групп таких элементов: пути (доступные для передвижения пространства), узлы (пересечение нескольких путей), ориентиры (объекты, хорошо различимые на расстоянии, достопримечательности), районы (участки вокруг ориентиров), границы (реки, проспекты и т.д.) (Lynch, 1961).

Эти исследования привели к нескольким выводам. Во-первых, представления о таких обширных географических участках, как город, имеют схематический характер. Действительно, вряд ли можно предположить, что человек способен запомнить и воспроизвести все детали даже своего родного города. Во-вторых, так как выделенные элементы повторялись от испытуемого к испытуемому, то можно предположить, что пространственные представления имеют достаточно устойчивую структуру. В-третьих, эта структура отражает логику конструирования реального пространства и связана с такими видами деятельности как ориентировка и передвижение.

Вопрос о содержании когнитивных карт стал камнем преткновения для некоторых групп исследователей (Baird, Merrill, Tannenbaum, 1979). Он имел решающее значение для обсуждения формы

* Под «когнитивными картами» в самом широком смысле понимают ментальные представления о внешней пространственной организации. Термин был введен Э. Толменом (Толмен, 1980) для обозначения ментальной структуры, которую образуют поступающие внешние стимулы. Подобная «карта» позволяет определить пути (маршруты) передвижения, взаимосвязи элементов окружающей среды). Толмен полагал, что она представляет собой не статичную структуру хранения информации, а скорее план выполнения задачи или класса задач, не обязательно имеющих целью ориентацию в пространстве, но всегда связанных с действиями, разворачивающимися в пространстве.

хранения пространственного знания и структуры пространственных представлений (Блинникова, 1995; Блинникова, 1998). Содержат ли когнитивные карты расстояния? Сохраняются ли в мысленных представлениях реальные углы между направлениями? Сохраняется ли в памяти лишь информация о тех пространственных отношениях, которые нельзя вычислить, или информация в пространственных представлениях избыточна? Все эти вопросы можно свести к одному: являются ли когнитивные карты аналогией топографических карт или они представляют собой лишь «сетевую схему»?

Модели, предполагающие сохранение в когнитивных картах расстояний, называются «векторными картами». В их пользу говорят данные о том, что в любых ментальных репрезентациях присутствуют расстояния и, следовательно, они имеют вид, аналогичный окружающему пространству. В частности, в цикле исследований, проведенных под руководством Б. Ф. Ломова, было продемонстрировано сохранение в представлениях пространственной информации (Демидов, 1983; Ломов, 1961). Позднее в эксперименте Г. Иванса и К. Пездек (Evans, Pezdek, 1980) испытуемые, вспоминая ментальное представление и опираясь на него, сравнивали по близости две пары штатов или зданий территории университета. Результаты показали, что время реакции линейно увеличивалось в зависимости от удлинения дистанции между объектами. Похожие результаты были получены в экспериментах С. Кослина, Т. Бола, Б. Райзера (Kosslyn, Ball, Reiser, 1978) и П. Торндайка (Thorndyke, 1981). Именно в рамках этих моделей были предприняты попытки выстроить психофизические закономерности между параметрами реального и субъективного пространства.

Сторонники модели «сетевой схемы» не могут полностью игнорировать факты, свидетельствующие о присутствии расстояний и направлений в когнитивных картах, но они считают, что векторный вид информации не является универсальной формой и составляет минимум репрезентаций в совокупности знаний об окружающей среде. Они предполагают, что знания о внешнем пространстве представлены для субъекта в виде графической сети, где пункты кодируются как узлы, между узлами сети фиксируются равные расстояния, а углы между направлениями приближаются к прямым. Если это так, то в исследованиях испытуемые будут допускать ошибки при оценке расстояний. Для их оценок в этом случае будут важны повороты относительно ориентиров и загруженность пространства различными препятствиями.

Эти предположения подтвердились в ряде экспериментов. Например, Р. Бирн (Byrne, 1979) просил испытуемых дать оценку длины

пути между 12 парами городских локусов. Результаты показали, что значимо завывались расстояния в центре города по сравнению с окраиной, пути с поворотами по сравнению с прямыми, короткие расстояния по сравнению с длинными. Таким образом, получалось, что единой психофизической закономерности построить было нельзя. Был сделан вывод о том, что реальные расстояния не были отражены в мысленных представлениях о городском пространстве, а фиксируемые искажения зависели от пропозициональной структуры карты. Во втором эксперименте Р. Бирна испытуемые оценивали углы, которые образуются на пересечении улиц. Оказалось, все склонны оценивать углы в диапазоне от 60 до 120 приблизительно как прямые (90°). Такие данные свидетельствуют о том, что не только расстояния, но и направления представлены для субъектов условно. В другом эксперименте было продемонстрировано, что время, затрачиваемое испытуемыми на манипуляцию с мысленными образами, коррелирует не с размерами фигур, а с количеством операций, необходимых для выполнения задания (Lelless, McLoughlin, 1990).

Более осторожные исследователи склонны признать, что знания о направлениях и расстояниях являются важной частью когнитивной карты, наряду с информацией о взаиморасположении объектов (Evans, 1980). В литературе можно встретить попытки решить этот вопрос, рассматривая различные модели карт в зависимости от опыта субъекта. В частности, можно предположить, что хорошо знакомая местность представлена как «векторная карта», в то время как репрезентации менее известного пространства содержат, прежде всего, информацию о взаиморасположении объектов (т. е. о топологии пространства). Если эта гипотеза верна, то «сетевые карты» генетически предшествуют «векторным».

Нами был проведен ряд исследований, в которых проверялось это предположение. В одном из них испытуемые оценивали расстояния на участках местности с разной степенью знакомости (см.: Блиникова, 1998). Как и в эксперименте Бэрда, Меррилла и Танненбаума (Baird, Merrill, Tannenbaum, 1979), в нашем исследовании принимали участие студенты*, а оценке подвергались расстояния между локусами университетской территории. В целом результаты показали

* В исследовании принимали участие студенты четырех факультетов МГУ им. М. В. Ломоносова, имевшие разный опыт знакомства с территорией университета на Воробьевых горах. Они должны были оценивать расстояния между зданиями на территории МГУ на Воробьевых горах в условных единицах относительно заданного эталонного расстояния. Полученные расстояния затем подвергались обработке с помощью метода многомерного шкалирования.

достаточно высокую точность оценок. Процент значимых различий оценок испытуемых с истинными расстояниями (уровень значимости до 0,5%) достигал 24,4% по отношению к общему количеству оценок. Хотя эти данные не соответствовали той степени точности, которая демонстрировалась в аналогичных экспериментах с кампусами университетов США, однако в целом получалась практически линейная зависимость оценок от истинных расстояний (рисунок 1).

Такие данные легче интерпретировать с точки зрения векторных моделей. Еще большее значение, на наш взгляд, имеют показатели дисперсии, соотнесенные с сеткой реальных расстояний (рисунок 2). В целом (за исключением отдельных случаев, которые требуют особого рассмотрения) наблюдается увеличение показателей дисперсии с увеличением реальных расстояний. Следовательно, чем большее расстояние оценивают испытуемые, тем больше вариабильность оценок и тем больше диапазон субъективной величины, с которой они работают.

Однако ряд полученных данных не укладывался в векторные модели. Анализ тех оценок, в которых искажения реальных расстояний были значимы, не позволил выявить единой закономерности. Мы выделили два случая появления ошибок. Первый из них определяется тем, что искажение реальных расстояний происходит при оценке малознакомых путей. При этом какие-либо устойчивые закономерности выделить было трудно. В некоторых случаях испытуемые завышают оценки, в других – занижают. Все группы испытуемых значимо завышали расстояние между самыми удаленными точками (в данном случае это были корпус биологического факультета и обсерватория МГУ). Группа студентов-биологов значимо занижала расстояние по вертикальной линии пространства, вся территория для них как бы сжималась, и наибольшее количество их оценок можно объяснить расположением точек по одной оси координат. Это является следствием недостаточной изученности некоторых участков территории данной группой испытуемых. Для нее достаточно необычным является путь «поликлиника – обсерватория», который образует вторую координатную ось изучаемого пространства. В то же время они каждый раз имеют возможность оценить протяженность территории в длину, добираясь до факультета от метро, которое находится на другом конце горизонтальной оси этого микрорайона, или на любом транспорте, идущем от центра города.

Кроме того, мы обратили внимание на то, что в общей совокупности объектов выделяются группы, которые образуют некоторую целостную связанность. Хорошим примером такой связанности локусов является сочетание главного корпуса и корпусов физичес-

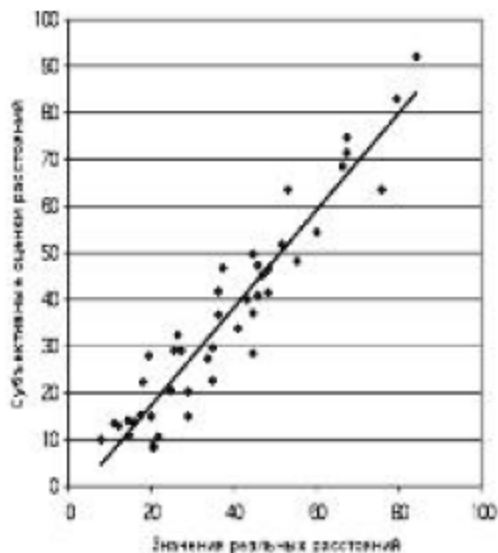


Рис. 1. Зависимость субъективных оценок расстояний от реальных величин в эксперименте с территорией МГУ на Воробьевых горах

кого и химического факультетов, которое присутствует в более или менее выраженной форме у всех групп испытуемых*. Расстояния внутри этих групп стабильно и значимо занижаются, объекты как бы стремятся сблизиться к одной точке. Расстояния до остальных локусов также стабильно и значимо завышаются†. Кроме того, такие группировки достаточно произвольным образом вращаются и перемещаются относительно общей пространственной структуры.

Описанные результаты можно интерпретировать таким образом, что характер и интенсивность деятельности на определенной географической территории оказывает влияние на точность и содержание когнитивных карт. Тем не менее влияние опыта на репрезентации окружающей среды неоднозначно. Неизвестные расстояния искажаются, но и наиболее привычные не оцениваются правильно. Как уже отмечалось, расстояния между зданиями внутри группировок занижаются независимо от опыта субъектов. Эти данные подтверждались и в других наших исследованиях (см.: Блинникова, 1998; Блинникова, Капица, Барлас, 2000).

* Для групп студентов-психологов и математиков можно было выделить также связанное сочетание локусов, в которые вошли первый гуманитарный корпус, поликлиника и манеж.

† Анализ точности оценок по сравнению с реальными расстояниями проводился с помощью критерия Стьюдента.

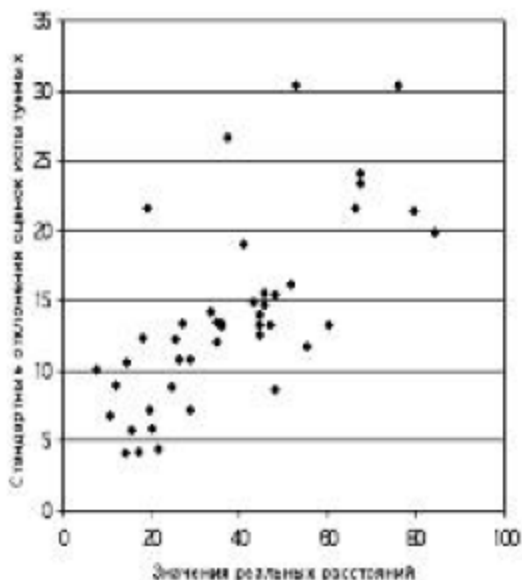


Рис. 2. Зависимость вариабельности оценок испытуемых от значений реальных расстояний в эксперименте с территорией МГУ на Воробьевых горах

Возвращаясь к противопоставлению сетевых и векторных карт, нужно признать, что испытуемые в большинстве случаев все же правильно оценивали расстояния относительно друг друга, и это свидетельствует о присутствии векторной информации в когнитивных картах. С другой стороны, установить какие-то четкие закономерности между оценками испытуемых и характеристиками реального пространства не удастся. В частности, полученные нами данные противоречат данным Р. Бирна (Burne, 1979). Наши результаты показывают, что большие расстояния скорее завышаются, а короткие – занижаются, в эксперименте Р. Бирна получилась обратная зависимость. Это рассогласование может быть объяснено различием объектов оценки или какими-либо другими факторами. Флуктуации и изменчивость являются характерной чертой подобного рода экспериментов и требуют перехода к объяснительным принципам. По-видимому, не существует возможности привести достаточно доказательств в пользу сетевой или векторной модели. Но и предлагаемое некоторыми исследователями (Evans, 1980) механическое объединение двух этих видов информации также не раскрывает сущности внутренних представлений об окружающем пространстве. Предположение о генетическом развитии сетевой карты в векторную также оказалось неверным, так как в хорошо знакомом пространстве испытуемые тоже допускают ошибки в оценке расстояний.

Для объяснения всех имеющихся данных самой приемлемой оказывается частичная иерархическая теория, предложенная Т. Макнамарой (McNamara, 1986). Эта модель предполагает, что пространственная информация хранится на различных уровнях, имеющих иерархическую связь. Векторный и схематический типы информации могут принадлежать к разным уровням такой структуры. Это и было подтверждено экспериментально, как автором теории, так и другими специалистами (Newcombe, Huttenlocher, 2000).

Структурированность внутреннего пространства приводит к тому, что оценка расстояний производится не между отдельными объектами, а между структурами. Следовательно, на характер внутренних представлений оказывает влияние не только опыт освоения территории, но и последующая его организация. Такая организация внутренних репрезентаций обеспечивает сохранение обширной информации об окружающем пространстве. Феномен, проявившийся в нашем эксперименте, может иметь два типа структурной организации: перцептивную и иерархическую.

Применение законов перцептивной организации для объяснения структуры мысленных образов вполне закономерно в русле аналоговых моделей. В одном из экспериментов (Gogel, 1978) было продемонстрировано, что когда две фигуры пространственно близки, они могут группироваться и ориентироваться друг относительно друга. С. Корен и Дж. Циркус (Cohen, Circues, 1980) просили испытуемых оценивать дистанции между парами точек. Когда пары входили в перцептивную группу, оценки были меньше, чем когда расстояния оценивались между перцептивными группами. Б. Тверская (Tversky, 1981) показала, что, кроме такой основы перцептивной организации, как близость, для структурирования пространственных представлений имеет значение принцип «общей судьбы». К частному случаю феномена «близости» относится выравнивание двух или нескольких фигур по одной линии. Согласованное вращение точек (или фигур) рассматривается как проявление принципа «общей судьбы». Б. Тверская продемонстрировала в экспериментах, касающихся воспроизведения топографических карт, что при затруднениях определения точной позиции может использоваться либо один из этих двух принципов, либо оба одновременно.

Объяснение структуры когнитивных карт через перцептивную организацию позволяет все пространственные отношения рассматривать на одном уровне и не вводить принцип иерархичности. Однако сама перцептивная организация такого рода предполагает аналогию ментальных и зрительных образов, что является объектом отдельных дискуссий и до конца не подтверждено (см.: Блиннико-

ва, 1998). Попытки найти альтернативные объяснения привели нас к модели, основанной на принципе рекурсивных вложений. Модель предполагает, что разные пространства могут быть вложены друг в друга, сворачиваясь до точки на когнитивной карте более обширной территории. При необходимости они могут разворачиваться в полноценную когнитивную карту.

Исходя из этой модели, легко объяснить и наличие группировок в когнитивной карте. В мелкомасштабной схеме, представляющей обширные участки территории, несколько близко расположенных зданий могут кодироваться как одна точка. Необходимость оценить расстояние внутри этих совокупностей требует включения более «крупномасштабной» (и более подробной) схемы, и это приводит к тому, что объекты разносятся в мысленном пространстве. В то же время все оценки между объектами, включенными в группировки (совокупности близкорасположенных локусов), и другими зданиями продолжают производиться относительно более глобальной схемы. Другим словами, выполняя задачу оценки, испытуемый мысленно переключается с одной карты на другую. Использование двух когнитивных карт одновременно при решении одной задачи вносит искажения в конечное решение. В итоге на картах субъективного представления, построенных с помощью метода многомерного шкалирования, появляются группировки географических объектов, разнесенных в пространстве, но более близко расположенных, чем в реальности, и обладающих характеристиками отдельного локуса. Подтверждение такой модели обнаруживаются и в генетическом исследовании формирования пространственных репрезентаций. В работе Ж. Пэлю (Pailhous, 1971) было показано, что на определенном этапе создания образа территории включаемые в него объекты неоднородны по типу пространственной связи. Часть точек имеет между собой метрические отношения и образует общую схему пространства. Другая часть точек лишь привязывается к первым отношениями соседства и образует группировки, в которых не сохраняются метрические отношения.

Работы в области классической психофизики пространственных отношений к середине 90-х годов XX в. пришли к закономерному завершению. Общий итог многочисленных исследований сводился к тому, что люди достаточно уверенно и с высокой степенью точности оценивают знакомые пространственные отношения. Однако точность этих оценок имеет предел. Объяснения возникающих ошибок наталкиваются на трудности, прежде всего из-за противоречивых данных, получаемых в разных работах. У исследователей начало складываться понимание того, что характеристики пространст-

венных представлений связаны с множеством разных факторов, из которых наиболее существенными являются характеристики деятельности субъекта, его отношения с окружающей средой, а также особенности его личности.

Трансформация психофизического подхода к исследованию пространственных представлений

В конце XX в. на стыке когнитивной психологии и психологии окружающей среды возникло новое направление – *пространственное познание*. В круг изучаемых проблем этого направления вошли не только представления людей об окружающем пространстве и их характеристики, но и использование этих представлений, их оценка и влияние на личность и состояние человека. Пространственные представления начали рассматриваться в более широком контексте представлений человека о мире, они стали включаться в «пространство личности». В современных исследованиях пространственных представлений используются три подхода: функциональный, эколого-эстетический и личностно-ориентированный.

Функциональный подход. Одной из продуктивных парадигм оказался подход, который обычно называется функциональным. Основным его достоинством является положение о том, что пространственные представления нельзя рассматривать вне той деятельности, в которой они формируются и используются. У истоков этого направления стоял Д. А. Ошанин. Исследуя пространственные характеристики ментальных представлений, он обнаружил, что они подвергаются значительным искажениям. Эти искажения отражали структуру практической деятельности, в рамках которой формировались образы. Д. А. Ошанин ввел понятие функциональной деформации образа (Ошанин, 1999).

В настоящее время идеи Д. А. Ошанина находят все больше сторонников. По результатам исследований приходится смещать акценты на функциональную роль пространственных представлений в деятельности. Все чаще они рассматриваются как «*стратегии кодирования пространственной информации*» (Millar, 1982). Когнитивные карты тесно связаны с практической деятельностью субъекта: без них не возможна ни координация простейших движений в пространстве, ни более сложное поведение (Tversky, 1981). Когнитивные карты рассматриваются не только как стратегии кодирования, но и как *стратегии использования пространственной информации* при решении практических задач.

Выделение общего функционального подхода до некоторой степени условно. В нем можно выделить различные направления.

Одно из них связано с функциональностью самих пространственных представлений. Пространственные представления рассматриваются как структуры, которые сохраняют необходимую для деятельности информацию (Блинникова, Капица, Барлас, 2000). В зависимости от актуального пространства и возможностей субъекта реализуются различные способы пространственной активности. Эмпирические данные демонстрируют важность способа и опыта передвижения для создания представлений о пространстве. Так испытуемые, которые чаще ездят на собственном автомобиле, рисуют более конкретные карты городских дорожных путей, чем те из испытуемых, которые пользуются автобусом (Liben, 1986). В рамках этого направления большее внимание уделяется механизмам перехода от практической деятельности к представлениям и наоборот (Блинникова, 1995; Landau, Spelke, 1985).

Второе направление (*дискурсивное*) возникло в рамках исследований вербализации пространственных представлений. Интересные факты были описаны Т. Геррманном и Р. Графом (1997). Говорящие имеют тенденцию вербализовать пространственные конфигурации в том порядке, в котором они впервые столкнулись с ними в опыте. Фактор соответствия опыту оказался очень устойчивым и проявлялся даже в том случае, когда вербальная линеаризация не повторяет последовательность приобретения знаний.

К третьему направлению можно отнести своеобразную концепцию Бурке (Burke, 1972), который предлагает анализировать соотношения между символическими пространственными объектами и социокультурными областями, которые они занимают и в которых они размещаются. Способы, которыми культурные объекты пространственно структурируются, меняются в зависимости от общества, региона, подгруппы внутри общества. Нет одинаковых видов пространственных структур, например, в ванной и спальне или в игровой комнате. Нет одинаковой структуры в областях, которые отведены для жилья, отдыха или торговли. Не только области разграничены и различаются социокультурно, но и пространственные объекты, которые насыщают эти области, дифференцированы по своей пространственной форме, и эти дифференциации определены в большей части социальными и индивидуальными целями деятельности. В человеческом мире символизм и символические действия играют ведущую роль, одна и та же физическая структура (объект) может в одном случае функционировать как пепельница, а в другом как произведение искусства.

К этой же традиции можно отнести и концептуальные построения Вапнера, Каплана и Чиоттоне (Wapner, Kaplan, Ciottone, 1981),

которые описывают, как происходит использование когнитивных карт в непосредственной деятельности в пространстве. Они изучали «внутренние репрезентации» и их лингвистический и квазилингвистический код. Представление локусов в ментальном пространстве включает не только их расположение относительно других объектов, но и направления движения, а также связи между людьми и предметами. При этом существенным является не столько ментальное представление само по себе, сколько процесс его применения. Используя представления о пространстве, мы одновременно используем и само пространство. Исследователи выделяют следующие компоненты, включенные в процесс использования локусов: субъект, действие, сцена или само разворачивающееся в пространстве событие, инструментарий (способы), цели и результат. Эти компоненты изменяются в каждом конкретном случае. Связи между этими компонентами также меняются в зависимости от онтогенетической стадии развития, социокультурных условий и отношения к ним субъекта.

Пространство в данной традиции выступает чаще всего в качестве сцены для реализации действий субъекта, направляемых определенной целью. Оно тесно связано не только с физической, но и с социальной активностью субъектов. Пространство в жизни человека регионально структурировано социокультурными нормами, ограничениями и правилами. Области пространства могут быть сценой деятельности международного сообщества, отдельной нации или этноса, другой исторически сложившейся группы людей, организации, семьи, индивида. Пространственные объекты могут служить защитой, убежищем и, наоборот, могут восприниматься как угроза.

Одновременно с этим авторы концепции декларируют, что пространство используется не только в реальной, но и в ментальной деятельности самого разного толка. Также отмечается, что использование пространства связано и с мотивационно-личностной сферой субъекта. Такой подход согласуется и с мнением ряда отечественных исследователей. В. В. Петухов отмечает, что любое пространство предстает как поле материальной и психической деятельности субъекта, и в «ядерное, фундаментальное представление города необходимо включен – интеллектуально, аффективно и моторно – сам решающий задачу субъект» (Петухов, 1984, с. 20).

Эколого-эстетический подход. В конце XX в. приобрели особую популярность исследования восприятия окружающего пространства как пространства жизни и представлений субъекта об окружающей среде. Жизненная среда включает, в частности, физическое окружение, в котором живет субъект и которое оказывает значительное

влияние на его индивидуальный психический облик, на формирование специфических для него стереотипов восприятия и системы отношений к действительности (Moore, Gollege, 1978).

Данные вопросы рассматриваются в рамках нового направления в психологии – экологической психологии или психологии среды. Основные положения экологической психологии были сформулированы еще в 1949 г. Р. Баркером (Barker, 1968), который определил эту отрасль как связанную с поведением и психологическими ситуациями личности в естественных условиях. Исследования в рамках средовой тематики проводятся в трех основных направлениях: в когнитивном, поведенческом и оценочном, каждое из которых характеризуется своим кругом проблем и методов (Габидулина, 1991).

Когнитивное направление изучает формирование образа пространства, процессы познания среды и ориентировки в ней. Это направление во многом смыкается с классическими исследованиями пространственных представлений. Однако в данном направлении понятие «когнитивная карта» видоизменяется до «смыслового контекста среды» (Габидулина, 1991), и в связи с этим возникают дополнительно несколько измерений исследования. При такой постановке вопроса ментальное пространство перестает быть чисто когнитивной структурой. Значение его элементов определяется эмоциональным и интенциональным отношением субъекта. Смысловое пространство может рассматриваться как этап на пути построения картины мира, многомерного образа реальности.

Поведенческое направление в психологии окружающей среды представлено, прежде всего, работами Р. Баркера, основателя экологической психологии (Barker, 1968) и его последователей. В соответствии с традициями необихевиоризма основным предметом изучения считается пространственное поведение в разных средовых условиях. Основной метод экологической психологии – наблюдение, сопровождаемое беспристрастным описанием событий. Поведение, по мнению Р. Баркера, нельзя объяснить вне его связей со средой, поэтому пространственное окружение должно стать объектом изучения. Единицей анализа в соответствии с этой теорией является место поведения – объективная и ограниченная во времени и пространстве ситуация, которой свойственна определенная совокупность форм поведения. Многообразие мест поведения позволяет их классифицировать по разным принципам. Баркер выделял, по крайней мере, два основания для классификации мест: структурно-динамические (связанные с основными видами деятельности, которые разворачиваются в данном пространстве) и субъективные характеристики, которые определяются функциональным или эмоциональным состоянием,

испытываемым человеком в каждый конкретный момент. По мнению Баркера, полное описание существующих мест дает возможность создавать новые типы сред с заданными свойствами и определенным набором деятельностей. В этом средовом проектировании важное место отводится социальным нормам – регуляторам поведения.

На основе бесед с горожанами Г. З. Каганов выделил такие параметры среды: привычность, ничегонеделание, содержательность (культурная и смысловая насыщенность) и освоенность. Они отражают поведенческий аспект, воздействие окружения на состояние человека, показывают, насколько та или иная среда способствует реализации определенных видов деятельности (см.: Габидулина, 1991).

Оценочное направление не является столь методологически целостным, как когнитивное или поведенческое. В его русле выполняются многочисленные эмпирические исследования, посвященные отдельным параметрам среды: ее эстетическим качествам, стрессовым характеристикам, а также свойствам, связанным с физическим здоровьем человека (уровень шума, загрязненности, монотония и др.). Примером работ оценочного направления могут служить исследования Г. Мура, в которых делается акцент на физическом проектировании среды (Moore, 1996). В одной из своих работ по исследованию характеристик физической среды он предложил шкальную систему оценки окружающего пространства. Шкалы физической среды организованы им на пяти иерархических уровнях (Moore, 1994): 1) модель соседства; 2) место как пространство действия; 3) организация здания; 4) модель дома (пространственное районирование, циркулирование, обеспечение активности и пр.); 5) внешнее пространство активности.

Большую актуальность приобретает раскрытие характера структуры, уровней и форм воздействия жизненной среды на развитие личности. Т. М. Дридзе (1995) среди аспектов жизненной среды выделяет естественно-природный компонент (флора, фауна, качество воды и атмосферного воздуха, включая связанные с их состоянием заболевания местных жителей), «рукотворный» («плоды» технологической цивилизации, не имеющей аналогов в живой природе), информационный (потoki знаков и символов, формирующиеся коммуникативные сети, обеспечивающие трансляцию образцов и норм в текстовой деятельности) и социально-психоантропологический (другие люди, их менталитет, образ и стиль жизни и т. п.). Данные аспекты рассматриваются как объективно равнозначные, но обладающие разной ценностью для субъекта определенного пространства, а потому по-разному оказывающее влияние на физическое, психическое и социальное состояние.

Личностно-ориентированный подход. В настоящее время продолжает с успехом развиваться направление, рассматривающее связь личностных качеств и индивидуальных особенностей субъектов с представлениями о пространстве. Личностные и индивидуальные особенности субъекта, с одной стороны, являются одним из факторов формирования пространственных представлений. С другой стороны, функциональные и эмоциональные состояния субъекта зависят от характеристик пространства и возможности манипулировать ими. В частности была выявлена важная закономерность. Если организм в течение длительного времени находится в условиях территориальной депривации, то он «научается» быть беспомощным и во всех других ситуациях, демонстрируя неуверенность и страх. Невозможность активно познавать пространственную организацию вызывает состояние дезориентированности (Нийт, 1980). Изучением отношений между личностными особенностями субъекта и характеристиками пространства занимались многие исследователи. Так, например, Т. Нийт с коллегами (см.:см Круусвалл, Хейдметс, Нийт, 1986) обнаружили тесную связь между плотностью заселения, наличием у ребенка «собственного места» и когнитивно-интеллектуальным развитием (результаты теста Равена) и поведением ребенка.

В рамках личностно-ориентированного подхода обсуждается такое явление, как персонализация (Ковалев, Абрамова, 1995; Хейдметс, 1989; Sommer, 1969), в некоторых исследованиях ее называют «чувством места» или «тождеством места» (Korpela, 1992). М. Хейдметс (1989) считает, что персонализация среды – основное, исходящее от человека требование к организации окружающего его пространства. В его концепции под «персонализацией» понимается процесс фиксации определенной части среды как «своего места». По его мнению, персонализация связана с такими важными характеристиками, как отношения между людьми, личностные черты (самостоятельность, активность и др.), отношение к конкретной среде. М. Хейдметс выделяет несколько форм включения пространственных компонентов в сферу человеческих взаимоотношений: персональное пространство – непосредственное окружение человека, в которое другие не допускаются (термин введен Э. Холлом); дистанция общения – расстояние, которое люди поддерживают между собой в разных ситуациях; ориентация – взаиморасположение партнеров при общении; фиксация территории – определение территории как «своей», отождествление с ней и контроль. Некоторые психологи утверждают, что отсутствие «персонального» пространства может вызвать у ребенка психосоматические явления.

Физическая среда, окружающая человека, по мнению Г. Прошански (Proshansky, 1978), ментально выстраивается в рамках индивидуальной личностной структуры с ее диспозициями. С. Эпштейн (Epstein, 1983) предполагает, что люди создают свою собственную теорию о себе и о мире, которая на подсознательном уровне определяет и направляет поведение, при этом пространственные структуры играют важную роль. Личностные отношения к среде выступают в виде предпочтений того или иного пространства. Одной из функций пространственных предпочтений является контроль за психологическим состоянием субъекта.

Пути интеграции: новая психофизика

Описанные подходы к изучению пространственного познания существуют как три достаточно независимые области исследования. Однако внимательный анализ позволяет увидеть в них достаточно много пересечений и сходных идей. В 1981 г. Л. Либен (Liben, 1981) предложил схему формирования пространственных репрезентаций, он сделал попытку охватить все аспекты этого психического феномена: психофизический, функциональный, социокультурный и личностно-эмоциональный. В его схему были включены как характеристики объекта, так и характеристики субъекта. Большое внимание уделялось взаимному влиянию субъекта и его окружения. Субъектно-объектные отношения рассматривались в рамках физической и социокультурной среды. Можно сказать, что в этой схеме учитывается когнитивный и метакогнитивный компонент. Последний предполагает существование не только структуры пространственных знаний, но и структуры отношения к этому знанию, его рефлексии и контроля за его использованием.

В первой психологической работе К. Левин (Левин, 2001) проанализировал свои фронтные переживания и представления военного ландшафта. Он обратил внимание на то, что топологические (связанность, бесконечность и т. п.) и метрические характеристики пространства меняются при изменении эмоционального отношения к этому пространству. Так, линия фронта обрывала до этого бесконечный ландшафт и задавала ему направленность. Перед линией фронта объекты как бы уплотнялись, искажались их метрические соотношения: опасные участки растягивались, а безопасные сжимались.

В одном из наших исследований с использованием методов шкалирования расстояний между объектами городского пространства было получено подтверждение этих интуитивных догадок К. Левина. В нем принимали участие 20 взрослых жителей одного из районов Москвы. Десять из них были хорошо осведомлены об объективной

экологической ситуации в этом районе, а остальные десять имели лишь поверхностные представления об этом. Группы были эквивалентными по возрасту, полу и образовательному цензу. На городской территории, которая была хорошо знакома всем испытуемым, были выделены 12 объектов: 2 школы, детский дом, детский сад, магазины, кинотеатр и 2 промышленных предприятия. Одно из них выглядело достаточно безобидным, но в действительности представляло собой опасный с точки зрения экологии объект, выбрасывающий в атмосферу различные кислоты (это была старая фабрика по производству валяной обуви, которая впоследствии была закрыта). Второе предприятие выглядело «экологически опасным», поскольку имело высокую трубу. Однако на самом деле оно не представляло серьезной опасности (это была небольшая котельная). Испытуемых просили нарисовать карту одного микрорайона и оценить попарно расстояния между 12 пунктами. Затем им давалась схема микрорайона, которую просили раскрасить цветными карандашами в соответствии с их представлениями об экологической обстановке в том или ином месте. Предполагалось, что выбор цвета будет зависеть от эмоционального отношения испытуемых к объектам окружающей среды.

Результаты показали, что обе группы испытуемых достаточно точно рисовали знакомую местность и оценивали расстояния между объектами, находящимися на ней. Анализ оценок расстояний показал, что осведомленные испытуемые переоценивали дистанции от экологически опасного промышленного объекта до всех близлежащих зданий. Для раскрашивания именно этого объекта испытуемые этой группы выбирали черный цвет или использовали сочетание черного и красного цветов. Неосведомленные испытуемые точнее оценивали эти расстояния (различия были высокозначимыми: $F(65,1) = 7,495$, $p < 0,01$). Напротив, неосведомленные испытуемые рассматривали котельную как достаточно опасный объект (о чем свидетельствовало выбор цветов для его раскрашивания) и завышали расстояния от нее до других зданий. Эффект этой кажущейся опасности был меньше, чем эффект реальной опасности (различия между двумя группами были менее значимыми $F(22,1) = 7,636$, $p = 0,0113$).

Таким образом, объекты, которые считались экологически грязными, в ментальном представлении отделяются от всех остальных. Их окружает как бы субъективный барьер. Чем меньше кажущаяся опасность, тем меньше дистанцируются такие объекты. Можно было сделать вывод, что пространственные представления испытуемых искажаются под влиянием эмоционально-смысловой окраски, в частности, под влиянием реальной или кажущейся опасности.

В другом нашем исследовании, проведенном совместно с Н. Ю. Городечной, принимали участие 72 школьника (36 мальчиков и 36 девочек) в возрасте от 9 до 11 лет. В качестве тестовых территорий использовались: первый этаж школы, школьный участок, город. Дети должны были перечислить объекты, которые расположены на заданной территории и которые они могли вспомнить, нарисовать план территории. Результаты показали, что на выполнение задач влияет масштаб тестовой территории. В зависимости от масштаба изменяется тип представления пространства. Часто от простой задачи (изображение одного этажа школы или школьного двора) к сложной (изображение пространства города) тип выполнения менялся на более примитивный (от схемы, включающей метрические отношения, к образной карте, основанной на передаче топологических отношений). Лишь для небольшой части детей (6,1%) переход к большим размерам пространства явился поводом для применения более совершенных средств пространственного конструирования.

Полученные данные также показали, что некоторые дети либо пропускали много объектов, рисуя план первого этажа школы, либо дополняли его теми объектами, которых там нет в реальности. Можно было сделать два предположения: 1) что они имеют неверные «когнитивные карты» или ошибочное представление о реальном пространстве; 2) что здесь проявляются некоторые эмоциональные и функциональные предпочтения: объекты, которые не включены в деятельность и вызывают отрицательный эмоциональный отклик не обозначаются на планах, а объекты, которые часто используются и вызывают положительную эмоциональную реакцию, обозначаются. Поэтому во второй части исследования школьников просили выполнить задание на ранжирование различных объектов школьного здания и школьной территории по их предпочтению. Результаты скорее подтвердили вторую гипотезу. На характеристики когнитивных карт оказывают влияние индивидуальные предпочтения локусов: школьники изображали объекты, которые были включены в их повседневную активность и которые способствовали сохранению их положительного (комфортного) эмоционального состояния.

Мартин Веттер (Vetter, 1998), указывая на важность деятельности и ее структурных компонентов в формировании представлений о мире, вводит понятие поведенческой компетентности (в моторной, когнитивной, социальной плоскостях) как о необходимой составляющей для получения разнообразного опыта: знания своего тела, опыт обращения с предметами, ориентировка в пространстве, общение с социумом и др. Пространственная активность определяется аспектами и элементами пространства. Она может быть

формальной и символической, воспроизводящей и созидающей, при этом используются данности конкретной среды в совокупности с уже имеющимися и приобретаемыми с опытом способами взаимодействия со средой. Знания об окружающем пространстве неотделимы от степени сформированности навыков актуализации и использования этих знаний. Уровень знаний, их актуализация и использование объединяются в понятии пространственной компетентности, которая формируется под влиянием многих факторов: индивидуальных, социокультурных, физических.

Современные исследования пространственных представлений или когнитивных карт, на каком уровне они бы ни проводились, должны учитывать не только характеристики объекта, но и характеристики субъекта. Связующим звеном между этими двумя сущностями выступает деятельность субъекта. В качестве экспериментальной парадигмы можно использовать комплексный уровневый подход, в котором будут использованы прямые и непрямые методы оценки пространственных характеристик в сочетании с методиками выявления эмоционального отношения и пространственных предпочтений.

ЛИТЕРАТУРА

- Блинникова И. В.* Роль зрительного опыта в репрезентации окружающего пространства // *Ментальная репрезентация: динамика и структура* / Под ред. А. В. Брушлинского, Е. А. Сергиенко. М.: Из-во ИП РАН, 1998. С. 101–132.
- Блинникова И. В.* Роль зрительного опыта в формировании представлений человека об окружающем пространстве: Дис. ... канд. психол. наук. М.: Факультет психологии МГУ, 1995.
- Блинникова И. В., Капица М. С., Барлас Т. В.* Функциональные и эмоциональные искажения в пространственных представлениях // *Вестник Московского университета. Сер. 14. Психология.* 2000. № 3. С. 62–73.
- Величковский Б. М.* Образ мира как гетерархия систем отсчета // *А. Н. Леонтьев и современная психология.* М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. С. 155–165.
- Величковский Б. М., Блинникова И. В., Лапин Е. А.* Представление реального и воображаемого пространства // *Вопросы психологии.* 1986. № 3. С. 103–112.
- Габидулина С. Э.* Психосемантика городской среды (объективные и субъективные факторы отношения горожан к элементам городского ландшафта): Дис. ... канд. психол. наук. М.: Факультет психологии МГУ, 1991.
- Геррманн Т., Граф Р.* Предпосылки пространственной коммуникации: точка зрения и последовательность точек зрения // *Иностранная психология.* 1997. № 8. С. 35–43.
- Дейвисон М.* Многомерное шкалирование: Методы наглядного представления данных. М.: Финансы и статистика, 1988.

- Демидов А. В. Экспериментальное исследование мысленных вращений в зрительных представлениях // Психологический журнал. 1983. Т. 4. № 1. С. 144–145.
- Дридзе Т. М. Человек в городском пространстве: социально-коммуникативные механизмы и социальное участие в формировании городской среды // Мир психологии и психология в мире. 1995. № 4 (5). С. 20–27.
- Ковалев Г. А., Абрамова Ю. Г. Психологические особенности организации физического окружения ребенка в условиях городской среды // Мир психологии и психология в мире. 1995. № 4 (5). С. 28–36.
- Круусвалл Ю., Хейдметс М., Нийт Т. Социально-психологические исследования жилой среды // Социологические исследования проблем города и жилища. Новосибирск: Наука, 1986. С. 164–170.
- Левин К. Военный ландшафт // Динамическая психология. М.: Смысл, 2001. С. 87–93.
- Ломов Б. Ф. Когнитивные процессы как процессы психического отражения // Когнитивная психология / Под ред. Б. Ф. Ломова и др. М.: Наука, 1986. С. 7–20.
- Ломов Б. Ф. Опыт экспериментального исследования пространственного воображения // Проблемы восприятия пространства и пространственных представлений / Под ред.: Б. Г. Ананьева, Б. Ф. Ломова. М.: Из-во АПН РСФСР, 1961. С. 185–191.
- Нийт Т. Общие тенденции в развитии теории о взаимоотношениях человека и среды // Человек. Среда. Общение. Таллинн, 1980. С. 5–20.
- Ошанин Д. А. Предметное действие и оперативный образ. М. – Воронеж: НПО «МОДЭК», 1999.
- Петухов В. В. Образ мира и психологическое изучение мышления // Вестник Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 1984. № 4. С. 13–20.
- Терехина А. Ю. Многомерное шкалирование в психологии // Психологический журнал. Том 4. № 1. 1983. С. 76–88.
- Терехина А. Ю. Анализ данных методами многомерного шкалирования. М.: Наука, 1986.
- Толмен Э. Когнитивные карты у крыс и человека // Хрестоматия по истории психологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. С. 63–82.
- Хейдметс М. Социально-психологические проблемы жилой среды (аспект персонализации среды) // Человек. Среда. Общение. Таллинн, 1980. С. 26–50.
- Шемякин Ф. Н. О психологии пространственных представлений // Ученые записки научно-исследовательского института психологии. М.: Гос. НИИ Психологии, 1940. Т. 1. С. 197–236.
- Якиманская Т. С. Развитие пространственного мышления школьников. М.: Педагогика, 1980.
- Baird J. C., Merril F. F., Tannenbaum J. Studies of cognitive representation of spatial relation. 2. A familiar environment // J. Exp. Psychol.: General. 1979. V. 108. P. 92–98.

- Barker R. G.* Ecological psychology: concepts and methods for studying the environment of human behavior. Stanford, CA: Stanford University Press, 1968.
- Blades M.* Research paradigms and methodologies for investigating children's wayfinding // *A handbook of spatial research paradigms and methodologies*. V. 1: Spatial cognition in the child and adult / Eds.: N. Foreman, R. Gillett. Hove: Psychology Press Ltd, 1997. P. 103–129.
- Burke K.* Dramatism and development. Barre, Massachusetts: Clark University Press with Barre Publishers, 1972.
- Byrne R. W.* Memory for urban geography // *The Quarterly J. Exp. Psychol.* 1979. V. 31. P. 147–154.
- Coren S., Circues J. S.* Principles of perceptual organization and spatial distortion: The gestalt illusions // *J. Exp. Psychol.: Human Performance and Perception*. 1980. V. 6. P. 404–412.
- Darken R. P., Peterson B.* Spatial Orientation, Wayfinding, and Representation // *Handbook of Virtual Environment Technology* / Ed. K. Stanney. New Jersey: Lawrence Erlbaum Assoc. 2002. P. 493–518.
- Eilam N., McCarthy R., Brewer B.* (Eds.) *Spatial Representation: Problems in Philosophy and Psychology*. Oxford: Blackwell, 1993.
- Epstein S.* The unconscious, the preconscious, and the self-concept // *Psychological perspectives on the self* / Eds.: J. Suls, A. G. Greenwald. Vol. 2. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1983. P. 219–247.
- Evans G. W.* Environmental cognition // *Psychological Bulletin*. 1980. V. 88. P. 259–287.
- Evans G. W., Pezdek K.* Cognitive mapping: Knowledge of real word distance and location information // *J. Exp. Psychol.: Human Learning and Memory*. 1980. V. 6. P. 13–24.
- Fournier-Viger Ph., Nkambou R., Mayers A., Dubois D.* Automatic Evaluation of Spatial Representations for Complex Robotic Arms Manipulations // *Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2007)*. Vancouver, Canada: AAAI Press. 2007. P. 279–281.
- Gogel W. C.* The adjacency principle in visual perception // *Scientific American*. 1978. V. 238. P. 126–139.
- Kaski S.* Data exploration using self-organizing maps // *Acta Polytechnica Scandinavica, Mathematics, Computing and Management in Engineering Series No. 82*, Espoo: Finnish Academy of Technology, 1997.
- Kennedy W. G., Bugajska M. D., Marge M., Adams W., Fransen B. R., Perzanowski D., Schultz A. C., Trafton J. G.* Spatial Representation and Reasoning for Human-Robot Collaboration // *Proceedings of the Twenty-Second Conference on Artificial Intelligence (ICALT 2007)*. Vancouver, Canada: AAAI Press. 2007. P. 1554–1559.
- Klatzky R. L., Loomis J. M., Beall A. C., Chance S. S., and Golledge R. G.* Spatial updating of self-position and orientation during real, imagined, and virtual locomotion // *Psychological Science*. 1998. V. 9 (4). P. 293–298.

- Korpela K. M. Place – identity as a produkt of environmental self-regulation // *Journal of Environmental Psychology*. 1992. V. 12 (3). P. 241–256.
- Kosslyn S. M., Ball T., Reiser B. J. Visual images preserve metric spatial information: Evidence from studies of image scanning // *J. Exp. Psychol.: Human Perception & Performance*. 1978. V. 4. P. 47–60.
- Landau B., Spelke E. Spatial knowledge and its manifestations // H. M. Wellman (ed.) *Children's searching*. Hillsdale: L. Erlbaum Ass., 1985. P. 1–26.
- Lelless D. B., McLoughlin C. S. Visual imagery: Joining images to create new shapes of varying complexity // *Perceptual & Motor Skills*. 1990. V. 71. P. 1308–1310.
- Liben L. S. Spatial Representation and Behavior: Multiple Perspectives // *Spatial representation and behavior across the / Eds.: L. S. Liben, A. H. Patterson, N. Newcombe*. NY: Academic Press, 1986. P. 3–36.
- Lynch K. *The image of the city*. Cambridge: Technology Press, 1960.
- Mc Namara T. P. Mental representation of spatial relations // *Cognitive Psychology*. 1986. V. 18. P. 87–121.
- Millar S. The problem of imagery and spatial development in the blind // *Knowledge and representation / Ed.: B. Gelder*. London: St. Edmunds Buro Press, 1982. P. 107–120.
- Moore G. How big is too big? How small is too small? // *Child care information exchange*. 1996. № 7. P. 21–24.
- Moore G. Quality assessment and planning for children: description and measurement of the psychical environment of child care centers // *Architecture and Behavior*. 1994. Vol. 10. N 4. P. 407–415.
- Moore G. T., Gollege R. G. *Environmental Knowing*. John Wiley & Sons Inc., 1978.
- Newcombe N. S., Huttenlocher J. *Making Space: The Development of Spatial Representation and Reasoning*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.
- Newcombe N. S. New perspectives on spatial representation: What different tasks tell us about how people remember location // *A handbook of spatial research paradigms and methodologies*. V. 1: *Spatial cognition in the child and adult / Eds.: N. Foreman, R. Gillett*. Hove: Psychology Press Ltd, 1997. P. 85–102.
- Olson D. R., Bialystok E. *Spatial cognition: The structure and development of mental representations of spatial relations*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1983.
- Pailhous J. Elaboration d'images spatiales et de regles de deplacement: une etude sur l'espace urban // *Le Travail Humain*. 1971. V. 34. P. 229–324.
- Proshansky H. M. The city and self-identity // *Environment & Behavior*. 1978. N 10. P. 147–169.
- Shepard R. N. The analysis of proximities: Multidimensional scaling with unknown distance function. 1, 2 // *Psychometrika*. 1962. V. 27. P. 125–140, 219–246.
- Shepard R. N. The mental image // *American Psychology*. 1978. V. 33. P. 161–194.
- Sommer R. *Personal space: The behavioral basis of design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1969.
- Thorndyke P. W. Distance estimation from cognitive maps // *Cognitive Psychology*. 1981. V. 13. P. 526–550.

- Thorndyke P. W., Goldin S. E.* Spatial learning and reasoning skill // Spatial orientation / Eds.: H. L. Pick, L. P. Acredolo. N. Y.: Plrnum Press, 1983. P. 195–217.
- Trowbridge C. C.* On fundamental methods of orientation and imagery maps // Science. 1913. V. 38. P. 888–897.
- Tversky B.* Distortions in memory for maps // Cognitive Psychology. 1981. V. 13. P. 407–433.
- Vetter M.* Was lernt man eigentlich in einer Bewegungslandschaft? // Praxis der Psychomotorik. 1998. 23 (1). S. 4–12.
- Wapner S., Kaplan B., Ciottone R.* Self – world relationships in critical environmental transitions: childhood and beyond // Spatial Representation and Behavior. Across the life span / Eds.: L. Liben, A. Patterson, N. Newcombe. New York: Academic Press, 1981. P. 251–282.

ГЛАВА 18

КАТЕГОРИАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ВОСПРИЯТИЯ ЖИВОПИСИ

Искусство есть деятельность человеческая, состоящая в том, что один человек сознательно известными внешними знаками передает другим испытываемые им чувства, а другие люди заражаются этими чувствами и переживают их.

Л. Н. Толстой

Целью настоящей статьи является реконструкция категориальной структуры восприятия зрителями живописного пейзажа в сопоставлении с категориальной структурой его краткого вербального описания. Ю. Лотман (1978) полагал, что человеческая культура может существовать только в полифонии языков разной модальности (литература, поэзия, живопись, музыка, киноискусство и т. д.), новое возникает при переводе с одного языка на другой, давая стереофоничность восприятию мира. Например, экранизация литературного произведения в чем-то его обогащает, разворачивая повествование на языке зрительных образов (художественного нарратива), вкладывая в новое произведение творческие находки и талант сценариста, режиссера, оператора, актеров, художника по костюмам, гримеров и других участников художественного процесса. Но в чем-то и обедняет, ибо утрачивается неповторимость авторского языка писателя, особенности его стиля, присущие ему метафоры и метафилософские фрагменты, ритмика текста. Вернее, даже не обедняя и обогащая (ибо для выражения богатства и бедности есть единая мера), а преобразуя то, что на языке другой модальности просто невыразимо, что при переводе неизбежно ведет (в терминах переводческой практики) к «смысловым лакунам», что не может быть выражено на другом языке и находится к переводимому в отношении «дополнительности» (если вспомнить известный принцип Нильса Бора).

Исследование выполнено при поддержке РГНФ, грант №09-06-00562а.

Эмпирический поиск специфики и сопоставление языка слов и языка живописи (с помощью техники построения семантических пространств) и составляет основную задачу нашего исследования.

В качестве объекта изучения был выбран пейзаж, минимизирующий сюжет (в отличие, например, от портретной живописи). В наших работах (Петренко, Нистратов, Хайруллаева, 1980; Петренко, 1987, 1997) уже проводилось сопоставление категориальной структуры вербального и образного языка на материале абстрактной живописи, где было показано наличие устойчивой категориальной сетки «языка восприятия» и близость (вернее сходимость) категориальных структур вербального выражения и языка живописи на глубинном (коннотативном) уровне семантики. При реализации замысла и порождении текста или образа (образ трактуется как своеобразное «перцептивное высказывание о мире» – Петренко, 1978) осуществляется процесс развертки исходного содержания, заданного коннотативными значениями и последовательный переход от коннотативного к более предметным уровням категоризации. При этом происходит обогащение исходного содержания на каждом из уровней порождения. Пути актуал-генеза образа и текста, имеющих единый корень эмоционально-образного переживания на глубинном коннотативном уровне, расходятся, и мы имеем два изоморфных, но чувственно и семантически разных продукта мировосприятия. В настоящем исследовании мы и ставили задачу выявить различие и специфику категоризации непосредственного восприятия и переживания сложного визуального эстетического объекта (пейзажа) и вербального описания эмоционального состояния порождаемого им у зрителя.

Пейзаж как вид живописи выступает своеобразным проективным тестом, отражающим личность художника и его доминирующие психические состояния. Искусствоведы так определяют предмет своего исследования: «Это пейзаж души художника». Поэтому, хотя принято говорить о восприятии живописи, объектом изучения в нашем исследовании выступает сложный конгломерат духовных исканий, осмысления бытия и поиска адекватного символа для его выражения художником и прочтения этого послания, восприятие и понимание его зрителем.

Психологический анализ живописи – одна из наименее разработанных областей психологии искусства, которая только нащупывает предмет и методы собственного анализа. К тому же анализ, как он традиционно понимается в науке, предусматривает разложение на некоторые первоэлементы, алфавит «языка восприятия». Однако насколько корректным является разложение целостного образа

произведения визуального искусства на составляющие (не говоря уже о критериях такого разложения) в свете гештальтистского понимания того, что целостное восприятие не является суммой частей? Не утратим ли мы сам объект анализа (художественный образ) при его анатомировании и аналитической вивисекции? Эти вопросы остаются открытыми. Художественный образ опосредован сознанием как художника, так и зрителя и в своей образной эмоциональности, включающей личностные смыслы, пронизан сетью ассоциативных связей (и сугубо индивидуальных, и архетипических), скрытых визуальных цитат (посредством которых он соотносится с другими произведениями) и существует только как «текст в тексте» или применительно к нашему случаю восприятия живописи как «образный текст в контексте культуры».

Специфика психосемантического подхода в области художественного восприятия заключается в том, что исследователь обращается к произведению искусства через посредника – реципиента, ставит задачу увидеть, услышать, понять и пережить произведение с позиции зрителя, читателя, слушателя, описать его в превращенной форме – форме события, опыта духовной жизни другого человека. Реконструкция субъективного инобытия произведения искусства осуществляется через построение субъективных семантических пространств, являющихся операциональной моделью сознания, в нашем случае – зрителя.

Итак, произведение искусства имеет коммуникативную природу и направлено на зрителя. Общение автора и зрителя происходит через произведение, через так называемый «язык искусства» – это особая система знаков, посредством которой осуществляется диалог между автором и слушателем, зрителем, читателем.

Одна из особенностей искусства – это способность вызывать эмоции, породить и трансформировать личностные смыслы. Пейзаж как особый жанр выражения духовных смыслов и эмоциональных настроений художника через состояния природы, использование образов природы как архетипический символов бытия – один из интереснейших объектов изучения языка визуальной культуры.

Эстетичность, гармония между частями целого в живописном произведении – это важное условие для возникновения у зрителя особого рода переживаний, это то, что отличает произведение от «не-искусства». Человек в искусстве, как полагал В. Соловьев, «предваряет» совершенную красоту. По его мнению, это происходит, когда художник воспроизводит «вечный смысл жизни, скрытый в частных и случайных явлениях природного и человеческого мира... лишь смутно и недостаточно выраженный»; пейзажная живопись

«воспроизводит в сосредоточенном виде идеальную сторону сложных явлений внешней природы, очищая их от всех материальных случайностей...» (Соловьев, 2001, с. 80). В пейзаже легче, чем в других жанрах, достичь такой гармоничной красоты, ответом на которую будут эстетические переживания зрителя. Пейзаж как жанр живописи наиболее полно отражает настроение автора, поскольку в нем представлен минимум сюжетных деталей, нагруженных смыслом.

В так называемом «пейзаже настроения» находят свое отражение чувства тоски, грусти, безнадежности или тихой радости. Мастера романтического, лирического пейзажа, пейзажа настроения – это И. Левитан, А. Саврасов, И. Айвазовский и др. В работах о творчестве живописцев часто можно встретить выражение «левитановский «пейзаж настроения»» или «саврасовский лиризм». Под этими словами подразумеваются не столько специфика манеры письма, сколько богатство особенных переживаний, запечатленных на картинах.

В произведении выражается мировоззрение автора, особенности его личности и мышления, а восприятие искусства опосредовано личностью зрителя. В процессе творчества автор своеобразно создает свой портрет, выражает себя. Картина – это текст, написанный автором от руки, стиль и манера которого составляют форму произведения, и эта форма может влиять на восприятие картины.

Опыт многих авторов, отраженный в художественной литературе и дневниках (например, в произведениях А. П. Чехова, Н. В. Гоголя, Р. Рильке), показывает, что при описании впечатлений от живописи возникают трудности. Слова и понятия не позволяют передать то, что выражено в картине. Рильке вспоминал об одной из картин Сезанна: «В моих чувствах память об этой картине не покидает меня даже во сне; кровь моя описывает во мне ее контур, но все слова проходят где-то стороной, и я не могу их вызвать» (Рильке, 1971, с. 236). В связи с этим при исследовании эмоционально-чувственного компонента восприятия произведений живописи возникает проблема выбора адекватных методов получения, обработки и интерпретации таких данных: каким образом зафиксировать переживания зрителя, какова категориальная структура восприятия произведения, на что ориентируется зритель, описывая свои впечатления от картины (на содержание, манеру письма, на цветовую гамму произведения).

Образный, «мягкий» (см.: Налимов, 2003) язык живописи имеет иную структуру, нежели словесный, и его содержание сложно передать с помощью вербальных средств. И это, вероятно, является причиной трудности описания живописных эстетических впечатлений.

Говоря о психологии искусства и о языке образов, мы сталкиваемся с проблемой взаимоотношения понятий «творец» – «произведение» – «зритель». Эта проблема затрагивает и восприятие, и понимание произведений, и особенности их создания. В отечественной психологии область художественного восприятия сравнительно недавно стала предметом исследования (см.: Аллахвердов, 2001; Грязева-Добшинская, 2002; Зинченко, 2005, 2006; Знаков, 2000, 2003; Леонтьева, 1998, 1999; Петренко, 1988, 1997). Как правило, исследования в области психологии искусства идут в русле изучения процессов создания и восприятия произведений, особенностей объективированных в их структуре приемов и средств воздействия на реципиента (Леонтьев, 1998).

Эмпирическое исследование категориальной структуры восприятия пейзажей методами психосемантики

Материал исследования. В работе анализировались произведения выдающихся русских живописцев: А. Иванова, А. Куинджи, А. Саврасова, А. Васнецова, В. Поленова, И. Шишкина, И. Айвазовского, И. Левитана и др. Всего – 100 пейзажей. В задачу исследования входило определение базисных категорий их восприятия. Пейзаж рассматривается нами как проекция эмоционального состояния художника, как «пейзаж его души».

Для упрощения формулировок мы вводим рабочее понятие «настроение», выраженное в пейзаже, или «настроение пейзажа» – комплекс переживаний, возникающих у реципиента при восприятии картины.

Испытуемые: 4 человека (2 мужчины и 2 женщины) в возрасте 21–26 лет, увлекающиеся художественным творчеством. Они с интересом отнеслись к заданиям экспериментатора, хотя процедура эксперимента очень длительная и требует постоянного внимания; проведение двух ее этапов занимает около 60 часов.

Задачи:

- 1 Выделение базисных категорий восприятия пейзажей и описание коннотативных значений отдельных пейзажей (реконструкция личностных смыслов пейзажей).
- 2 Сопоставление визуальной и вербальной семантики восприятия пейзажей.

Методом исследования, проводимого в рамках психосемантического подхода (см.: Петренко, 2005), было субъективное шкалирование как пейзажей, так и их словесных описаний (вербальных ярлыков).

Основное предположение заключалось в том, что использование двух стратегий (двух процедур) сопоставления пейзажей по сходству

эмоциональных состояний: непосредственное сопоставление пейзаж – пейзаж, минуя вербализацию, и сопоставление вербальных описаний эмоциональных состояний, вызванных пейзажами, – позволит (при формализованном анализе) выявить специфику и содержательные различия вербальной и образной форм категоризации, а также даст основания для описания структуры и особенностей «языка» живописи.

Процедура. Респонденту предлагалось оценить по семибалльной градуальной шкале каждый из ста пейзажей по тому настроению (или психическому состоянию), которое он вызывает. Во второй серии респондент сравнивал уже не картины, а данные им словесные описания настроений, вызываемых этими пейзажами. При сравнении пейзажей и их вербальных ярлыков для каждого респондента были получены индивидуальные матрицы сходства 100×100 , которые затем подвергались процедуре факторного анализа.

Результаты. В результате обработки данных были выделены факторные структуры, найдены нагрузки шкал по факторам. Всего выделено 9 факторов для каждой индивидуальной матрицы сравнения настроений пейзажей и до 13 факторов для матриц сравнения вербальных ярлыков. Для каждой матрицы были построены семантические пространства. Приведем пример анализа субъективного семантического пространства одной из испытуемых.

Респондент № 1–21 год, студентка факультета психологии, имеет художественные способности и навыки рисования. В детстве недолго обучалась в художественной школе. Ее не закончила, но увлекается живописью и продолжает рисовать в свободное время.

В результате обработки матрицы сходства пейзажей этого респондента было выделено 9 факторов. Анализ содержания факторов невербального семантического пространства респондента позволил выделить следующие конструкторы: «умиротворение, уединение, стабильность»; «борьба, сопротивление, преодоление»; «мистичность, загадочность»; «бодрость, желание работать»; «романтическое спокойствие и единение с природой, лень, грузность»; «усталость, обыденность, суета»; «легкость, обволакивающая нежность, свежесть»; «угнетение, усталость»; «уединение в безграничном просторе».

Рассмотрим подробно выделенные факторы.

В первый фактор (10,8% общей дисперсии) вошли пейзажи, изображающие природу преимущественно летом. Деревья на пейзажах густо покрыты листвой, есть спокойная вода, как правило, озеро. Общее настроение группы пейзажей – умиротворение, единение с природой. Картины, вошедшие в фактор, выполнены в зелено-золотистой цветовой гамме, однородны по предметному содержанию.

Картины, имеющие высокие факторные нагрузки этого типа, представлены на рисунке 1. Содержание этого фактора можно раскрыть через вербальные ярлыки к этим пейзажам, данные респондентом: «легкость», «простор», «умиротворение», «спокойное уединение», «удовлетворенность», «стабильность». Вербальные ярлыки очень однородны, и картины сходны по цветовой гамме и предметному содержанию, они характеризуются малым количеством деталей. Испытуемая отметила, что «зеленые просторы, леса, поля кажутся необъятными и умиротворенно-спокойными. Зеленый цвет очень спокойный, стабильный... поэтому и настроение такое». Этот фактор может отражать индивидуальное отношение к спокойной природе, атрибутами которой являются тишина, легкий свежий ветерок, небо с белыми кучевыми облаками.



Рис. 1. Пейзажи, вошедшие в первый фактор с наибольшим весом

Этот фактор, как и другие у этого респондента, является униполярным, т. е. не имеет противоположного полюса. Однако его можно противопоставить одному из полюсов вербального фактора «Активность», который выражен шкалами «активный», «быстрый», «беспокойный» и др.

Второй фактор (9,1% общей дисперсии) составляют картины с изображением волнующегося моря и корабля на волнах. Общее настроение этой группы картин – сопротивление, борьба со стихией, преодоление – «некоторая направленная активность». Картины, которые получили меньший вес в этом факторе, имеют предметное содержание, но выраженное в них настроение также содержит оттенок бессилия или отчаяния в борьбе со стихией. Заметна тенденция к уменьшению веса переменной с нарастанием субъективной напряженности сюжета. Настроение, зафиксированное в вербальных ярлыках картин этого фактора, – это «страх», «борьба со стихией»,



Рис. 2. Пейзажи, вошедшие во второй фактор с наибольшим весом

«отчаяние», «безысходность», «стремление достичь», «отчаянное противостояние». Картины, имеющие высокие факторные нагрузки, представлены на рисунке 2.

Итак, это фактор объединил произведения, в которых запечатлена динамика, борьба или активное стремление. Динамичность картин этого фактора можно также соотнести с одним из полюсов классического фактора «Активность», однако вербальные ярлыки отражают не только динамику сюжета, но и сильные переживания, связанные с преодолением водной стихии человеком. Наиболее нагруженные пейзажи в этом факторе принадлежат двум авторам – И. Айвазовскому и Р. Судковскому. Судковского часто называют преемником и продолжателем традиций Айвазовского. Респондент объединил эти произведения потому, что проникся их общей атмосферой.

Третий фактор (7,6% общей дисперсии) собрал картины, на которых природа изображена в несколько необычном для зрителя состоянии, непривычном, с точки зрения обыденного восприятия. Это или закат, или сумерки, или темная ночь. Цветовая гамма картин отличается, но все они объединены субъективными признаками «мистичность», «необычность», «загадочность». Предметное содержание картин: тихая вода, слабый источник света, горы. В этот

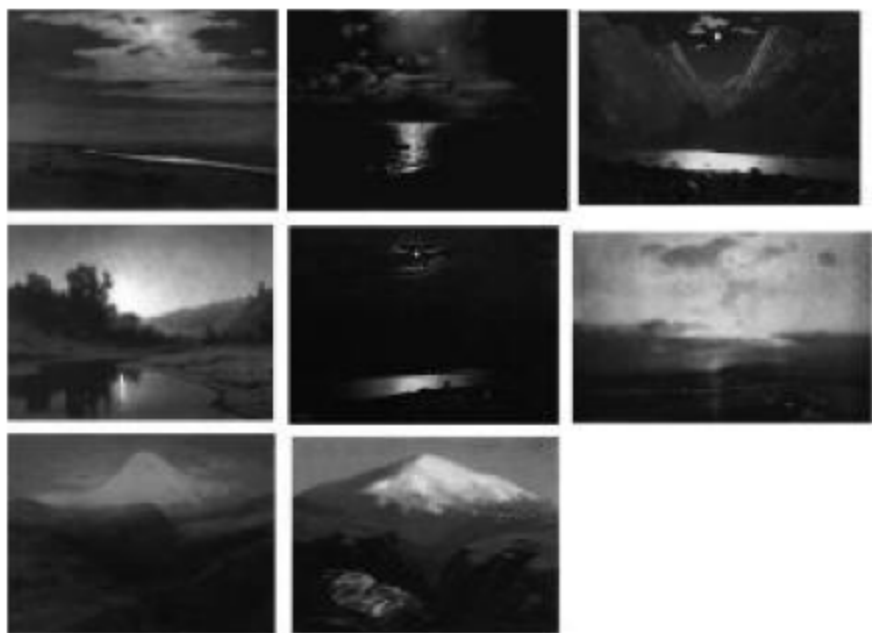


Рис. 3. Пейзажи, вошедшие в третий фактор с наибольшим весом

фактор в основном входят произведения А. Куинджи. Вербальные ярлыки к этим пейзажам: мистичность и загадочность. Картины этого фактора отличаются по цветовой гамме и выражают настроение мистичности, романтичности и загадочности: «В этих картинах есть что-то необычное, странное, непонятное, какая-то загадочность или мистичность». Картины фактора представлены на рисунке 3.

Четвертый фактор (5,6% от общей дисперсии) включает произведения, на которых изображены мелкие фигуры людей, занятых своими делами. На каждой картине действие происходит около воды (реки или моря). Картины контрастные и содержат самое большое число деталей по сравнению с другими. Общее настроение: будничное, рабочее, легкая суета. Этой группе картин соответствовали вербальные ярлыки: «ощущение покоя и настроение



Рис 4. Пейзажи, вошедшие в четвертый фактор с наибольшим весом

работать», «чинное спокойствие в будний день», «бодрая утренняя суета», «бодрость». Большинство пейзажей этого фактора выполнено А. Боголюбовым. Этот фактор объединил картины, изображающие человека или продукт его деятельности – корабли, строения. Здесь представлена не «чистая» природа, а преобразованная человеком. Объединяет картины и композиционные решения, например, линейная перспектива, а также высота горизонта. Картины четвертого фактора представлены на рисунке 4.

Пятый фактор имеет 5,6% общей дисперсии. Все картины, вошедшие в этот фактор, выполнены в теплых тонах. На каждой из них изображена тихая вода с парусниками или лодками, небо с легкими облаками, освещение неяркое. Общее настроение этой группы картин – спокойствие и близость к природе, романтическое уединение, безмолвие. Вербальные ярлыки к этим картинам: «спокойствие и единение с природой», «романтическое настроение», «ощущение силы и мистичности», «спокойствие безмолвия, лень, грузность», «ожидание», «легкое напряжение». Картины, составившие фактор, представлены на рисунке 5. Хотя вербальные ярлыки этих картин отличаются по смыслу, картины этого фактора близки по цветовой гамме и композиции. Они «теплые» и гармоничные.

Шестой фактор (5,3% общей дисперсии) объединил пейзажи с изображением деревьев или леса, выполненные в темных тонах (см. рисунок 6). Общее настроение этих картин: усталость и обыденность, осторожность, суетность. Вербальные ярлыки описывают разные настроения: «усталость, обыденность», «осторожность и спокойствие», «ощущение монументальности, величия окружающей природы», «настороженный поиск», «легкое ощущение мистичности, волнения», «суета, ощущение новизны, интерес». Предметно картины,



Рис. 5. Пейзажи, вошедшие в пятый фактор с наибольшим весом



Рис. 6. Пейзажи, вошедшие в шестой фактор с наибольшим весом

объединенные в этот фактор, также отличаются, но их объединяет более детальное изображение деревьев, чем на других пейзажах и наличие перемежающихся светлых и темных пятен. У этой группы пейзажей в композиции отчетливо наличие вертикальных линий, незавершенность, которая рождает динамику и возможность логического продолжения сюжета, но сложно однозначно утверждать однородность их композиционного построения. Однако, как было уже отмечено, настроения, приписанные этим произведениям различны. Это может означать наличие скрытого основания категоризации, не выраженного вербальным ярлыком.

Седьмой фактор (5,0% общей дисперсии) составляют картины, изображающие море, облака. Они светлые и неяркие. Их настроение – легкость, обволакивающая нежность, свежесть. В фактор вошли картины со следующими вербальными ярлыками: «обволакивающая нежность», «смесь грусти, уныния и бездействия», «свежесть», «расслабленное умиротворение, ощущение комфорта».

Фактор содержит очень светлые, легкие образы. Основной цвет картин – светло-голубой, предметно они наименее нагружены, чем другие пейзажи, использованные в исследовании. Эти картины не нагружены мелкими деталями и не контрастны. Важным является то, что все картины в этом факторе принадлежат А. Куинджи, и хотя вербальные ярлыки имеют разное содержание, эти картины объединены в один фактор. Пейзажи, составившие фактор, представлены на рисунке 7.

Восьмой фактор (3,0% общей дисперсии). Этот фактор сложно интерпретировать. Он объединил картины, которые, согласно вербальному ярлыку, связаны по настроению. Они субъективно отражают одно настроение, но предметно и по цветовой гамме отличаются. Одна из них светлая, даже бледная; другая темная,



Рис. 7. Пейзажи, вошедшие в седьмой фактор с наибольшим весом

но и одна, и другая неяркие, неконтрастные. Эти произведения представлены на рисунке 8. Вербальные ярлыки к этим картинам: «легкое ощущение угнетенности, усталости», «усталость».

Этот фактор слабый, но субъективно неконтрастные картины выражают усталость. Усталость сложно назвать настроением, это, скорее, ощущение. Согласно толковому словарю русского языка, усталость – это чувство утомления. Утомление, в свою очередь, связано со снижением функций внимания. Эти картины неконтрастны, можно предположить, что поэтому внимание не задерживается



Рис. 8. Пейзажи, вошедшие в восьмой фактор с наибольшим весом

на ключевых элементах композиции, и это может интерпретироваться как чувство утомления или усталость.

Девятый фактор (2,8% общей дисперсии). В него вошли предметно похожие картины К. Крыжицкого: на них изображено море с волнами. Настроение этих картин: ощущение простора, бескрайности и уединения (вербальные ярлыки: «ощущение безграничности простора», «бескрайний простор, ощущение уединения»). Картины очень похожи по всем параметрам: по цветовой гамме, композиции, предметному миру, они принадлежат одному автору. Картины, составившие фактор, представлены на рисунке 9.

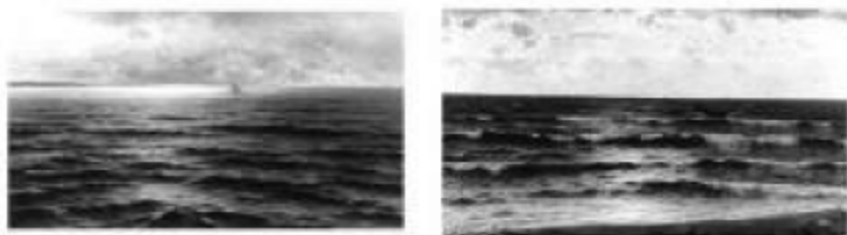


Рис. 9. Пейзажи, вошедшие в девятый фактор с наибольшим весом

В результате обработки матрицы сходства вербальных ярлыков пейзажей этого респондента было выделено 13 факторов, отличия которых от вербальных будут отмечены в ходе обсуждения.

Обсуждение

Сопоставление невербальных и вербальных семантических пространств пейзажей четырех респондентов показало, что семантические пространства пейзажей и вербальные семантические пространства отличаются своей размерностью (числом выделенных факторов – координатных осей пространства) и содержанием факторов (см. таблицу 1). Невербальные семантические пространства имеют меньшее число факторов, которые по содержанию соотносимы, но отличаются от «вербальных» факторов.

Анализ данных показал, что невербальные факторы на своих полюсах часто объединяют пейзажи, написанные одним автором, а также тематически и композиционно близкие произведения. В один фактор часто попадают произведения одного автора или произведения нескольких авторов со сходной тематикой (наиболее яркими в этом отношении являются произведения И. Айвазовского и А. Куинджи). Это может служить подтверждением того, что есть нечто объединяющее различные произведения одного автора и пейзаж может быть проекцией личности художника.

Таблица 1

КОЛИЧЕСТВО ФАКТОРОВ В СЕМАНТИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВАХ

Респонденты	Вербальное семантическое пространство		Семантическое пространство пейзажей	
	Общее количество выделенных факторов (критерий Кайзера)	Количество факторов, значимых по критерию Хэмфри *	Общее количество выделенных факторов (Критерий Кайзера)	Количество факторов, значимых по критерию Хэмфри
Респондент 1	13	12	9	9
Респондент 2	13	13	9	9
Респондент 3	12	10	9	9
Респондент 4	5	4	9	8

* Согласно этому критерию, фактор считается значимым, если абсолютная величина произведения двух максимальных факторных весов ($r_{\max 1}$, $r_{\max 2}$) вдвое больше единицы, деленной на корень квадратный из числа наблюдений (N):

$$|r_{\max 1}| \times |r_{\max 2}| > \frac{2}{\sqrt{N}}$$

Респонденты неоднократно отмечали сложность вербализации настроения, переживаемого от просмотра произведения. Сложности адекватного описания настроения и различия семантических пространств вербальных ярлыков и пейзажей могут свидетельствовать о различных основаниях категоризации визуальных образов и вербальных описаний. Вербальный язык фиксирует иные категории, нежели образный язык.

Если образ подвергается вербализации, он достраивается соответственно языку, на котором идет вербальное описание. Непосредственно образ воспринимается иначе. Восприятие произведения живописи и описание впечатлений от восприятия порождает перевод с языка образов на словесный язык. Ю. Лотман (1978) полагает, что язык образов характеризуется континуальностью и пространственной организацией элементов в отличие от словесного языка, который связан с дискретными знаковыми единицами и линейной последовательностью организации текста. Образ, представленный на картине, симультанен в отличие от его сукцессивного словесного описания.

Большие расхождения у одного респондента в категориальных структурах образов и их вербальных описаний (различное коли-

чество факторов, разная структура и содержание) свидетельствуют о том, что реципиент воспринимает произведение в одной определенной манере, а говорит о своих чувствах в другой. Почувствовать и рассказать о своих чувствах – не одно и то же.

Восприятие искусства всегда индивидуально, в него включается личность реципиента. Анализируя картины, составляющие каждый фактор, мы обнаруживаем индивидуальные основания классификации произведений при одинаковой инструкции. Описания настроений пейзажей наполнены субъективными предпочтениями и отношениями к явлениям.

По содержанию выделенных факторов можно проследить особенности индивидуальной категоризации пейзажей по их «настроению». Это может быть выражено в ориентации на выразительные средства произведения – цвет и композицию – или на авторскую манеру исполнения (это выражается в объединении нескольких картин одного автора при смысловом расхождении в вербальных ярлыках). Таким образом, процедура описания «настроения», выраженного в пейзаже – может быть проективным тестом (методом), выявляющим личностные особенности реципиента. Внутри многих факторов картины объединены общим настроением, однако один и тот же пейзаж у разных респондентов может вызвать различные оттенки настроений. В этих факторах категоризация может иметь иные основания, которые не отражены в описании настроения: цвет, композиция, манера исполнения – все то, что воспринимается как некоторый образ картины, что влияет на общее впечатление.

Предметный план, композиционные, цветовые и световые решения – выразительные средства живописи – отражают основную мысль автора и являются способом коммуникации автора и зрителя. Кроме этого, выбор тех или иных средств и образов отражает личность творца (например: бунтарский характер Айвазовского и основная тема его произведений – беспокойное море).

О биполярности и униполярности факторов невербальных и вербальных семантических пространств

Наряду с тем, что размерность невербальных семантических пространств у респондентов ниже размерности вербальных семантических пространств, невербальные факторы преимущественно униполярны, т. е. имеют один полюс (см. таблицу 2). То, что размерность вербальных семантических пространств, как правило, больше, чем размерность невербальных, означает, что вербальная категоризация более дифференцирована, чем образная. Например, у одного из респондентов были выделены два вербальных фактора,

которые подходят под определение «сказочность». Но язык позволяет осуществлять более дифференцированную категоризацию, разводя сказочность наигранную, «бутафорскую» и сказочность таинственную, тихую.

Таблица 2

Биполярные и униполярные факторы
в семантических пространствах респондентов

Респонденты	Семантическое пространство пейзажей		Вербальное семантическое пространство	
	Общее количество выделенных факторов	Количество биполярных факторов	Общее количество выделенных факторов	Количество биполярных факторов
Респондент 1	9	0	13	10
Респондент 2	9	4	13	6
Респондент 3	9	0	12	4
Респондент 4	9	1	5	3

Если категоризация на вербальном уровне осуществляется как противопоставление и выражена в биполярности «вербальных» факторов, то категоризация образная ведется иначе: факторы преимущественно униполярны, группа картин, объединенных сходным настроением, не противопоставлена другой группе, а выделена как отдельная, отличная от всех остальных. Если биполярность в образном плане и встречается, то, раскрывая ее содержание, мы находим субъективные описания «настроений», воспринимаемых через образ. Такие противопоставления нельзя назвать антонимичными, это скорее сопоставления отдельных элементов, составляющих целый образ: например, «дискомфорт» и «гнетущее настроение» в восьмом невербальном факторе респондента 2 противопоставлены «открытости будущим событиям», «радости», «удовлетворению от динамичности... событий» и «скрытой активности», т. е. сложные конструкты сравниваются друг с другом, сопоставляются, но они не являются антонимичными. Логическую основу антонимии в словесном языке образуют противоположные понятия (богатый–бедный, немолодой–старый) (Уваров, 1998). С точки зрения лингвистики, антонимия представляет собой одну из языковых универсалий: она свойственна практически всем языкам. Согласно нашим результатам, большинство категорий восприятия пейзажей не образуют таких противопоставлений.

Выбранные нами пейзажи (а, возможно, и данный жанр живописи), конечно, не могут выражать весь спектр настроений, которые способен уловить реципиент: чаще в пейзажных зарисовках отражены сильные чувства, которые возможно ощутить посредством природы (спокойствие и умиротворение, тревога и страх, загадочность, мистичность и необычность, величие, тоска).

Невербальная категоризация отличается от вербальной. Вербальная категоризация более дифференцирована, аналитична (т. е. фиксирует больше конструкторов), но невербальная отражает целостный образ явления, не дробя его на составные части. Невербальные категории характеризуются целостностью и в связи с этим не предполагают жесткой антонимии: образы могут сравниваться, но редко противопоставляются. Решающим в категоризации пейзажей является предметный план изображения, который содержит некий символ. Можно полагать, что сама специфика пейзажа основана на отображении ограниченного ряда символических образов (море, горы, лес, река, омут, индустриальный пейзаж). Тем для пейзажей не так уж много. Горы, например, выражают идею величия, недоступности, образ «горного», трансцендентального. Но малая гора (согласно фэн шю), может быть и защитой от непогоды, от жизненных невзгод. Море выражает ощущение безбрежности, «ветра дальних странствий», но в зависимости от состояния оно может вызывать и ужас у попавшего в шторм морехода, а может своей прозрачной синевой и отблесками солнечных лучей создавать атмосферу неги и расслабления. Смысловое ядро «величия» (в первом случае) и «безбрежности» (во втором) сохраняются, но в зависимости от замысла и настроения художника основная тема (архесема) дополняется конкретизирующими смыслами (дифференциальными семами в терминах лингвистики), и создаются пейзажи как вариация на вечные темы бытия, где языком образов природы выражаются архетипические состояния человеческой души.

Выводы

Семантические пространства пейзажей и их вербальных описаний отличаются своей размерностью (количеством факторов), содержанием и униполярностью/биполярностью выделенных факторов. Большинство «невербальных» факторов униполярны. Вербальные семантические пространства имеют большую размерность, чем невербальные, и, как правило, биполярны. Эти результаты свидетельствуют о том, что словесный способ описания обладает большей дифференцированностью, чем язык образов. Он более аналитичен и позволяет выразить и осознать более тонкие смысловые нюансы.

В основе его построения лежит принцип противопоставления (бинарности), что на уровне семантических пространств выражается в доминировании (по сравнению с языком образов) биполярных факторов (и стоящих за ними смысловых конструкторов). В отличие от сукцессии словесного способа выражения «язык образов» в силу своей симмультантности выражает более интегрированное, целостное переживание и благодаря этой целостности имеет более сильное эмоциональное воздействие. Отметим, что последнее утверждение о большей силе воздействия «языка образов» – гипотеза, интуитивно очевидная, но нуждающаяся в экспериментальной проверке и выделении «зоны приложимости». Язык образов, как бегун на короткие дистанции, может дать сильный кратковременный эмоциональный импульс, в то время как вербальный продукт (роман, повесть) на долговременной дистанции накапливает энергию воздействия на читателя.

ЛИТЕРАТУРА

- Аллахвердов В. М. Психология искусства. Эссе о тайне эмоционального воздействия художественных произведений. СПб.: ДНК, 2001.
- Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие М., 1974.
- Бахтин М. М. Проблемы поэтики Достоевского. М., 1979
- Брунер Дж. Психология познания. За пределами непосредственной информации. М.: Прогресс, 1977.
- Грязева-Добшинская В. Г. Современное искусство и личность: гармонии и катастрофы. М.: Академический проект, 2002.
- Знаков В. В. Понимание произведения искусства // Психология искусства. В3 т. Самара: Изд-во Самарского гос. пед. ун-та, 2003. Т. 1.
- Знаков В. В. Понимание художественной правды // Творчество в искусстве – Искусство в творчестве. М.: Наука–Смысл, 2000.
- Зинченко В. П. Психологические аспекты влияния искусства на человека // Культурно-историческая психология. 2006. № 4.
- Зинченко В. П. Живое время (и пространство) в течении философской мысли // Вопросы философии. 2005. № 4.
- Леонтьев Д. А. Психология смысла: природа, строение и динамика смысловой реальности. М.: Смысл, 1999.
- Леонтьев Д. А. Введение в психологию искусства. М., 1998.
- Лотман Ю. М. Семиотика кино и проблемы киноэстетики. Таллин: Ээсти Раамат, 1978.
- Налимов В. В. Вероятностная модель языка. О соотношении естественных и искусственных языков. Томск–М.: Водолей, 2003.
- Петренко В. Ф. К вопросу о семантическом анализе чувственного образа // Восприятие и деятельность. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975.

- Петренко В. Ф., Нистратов А. А., Хайруллаева Л. М.* Исследование семантической структуры образной репрезентации методом невербального семантического дифференциала // Вестник Московского Университета. Сер. 14. Психология. 1980. № 2.
- Петренко В. Ф.* Психология сознания. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988.
- Петренко В. Ф.* Основы психосемантики. СПб.: Питер, 2005.
- Рильке Р. Огюст Роден* // Письма. М.: 1971.
- Соловьев В.* Общий смысл искусства // Собр. соч. (электронный ресурс). Вехи. 2001. www.vehi.net/soloviev/smysl_isk.html
- Уваров М. С.* Оппозиция языка и текста в культуре XX века // Философский век: Альманах. СПб: 1998. Вып. 7.

ГЛАВА 19

ЗООПСИХОФИЗИКА: ПУТИ РАЗВИТИЯ

Эмпирическое изучение психики животных позволило еще в конце XIX–начале XX в. сформулировать представления о том, каким требованиям должно удовлетворять научное исследование. Среди таких критериев – использование бодрствующих, здоровых (желательно интактных) животных, четко регламентированной и воспроизводимой процедуры, позволяющей сделать по возможности наиболее точное, желательно количественное описание условий опыта и производимых исследователем в ходе эксперимента изменений в ситуации. Следование этим требованиям связано со стремлением к получению воспроизводимых результатов, что принималось в качестве основного критерия научности. Таким критериям отвечала к этому времени уже весьма развитая психофизика, стремящаяся к эталонам, выдвинутым физической наукой. Поэтому обращение к ее методам, разработанным в трудах по психике человека, было для исследователей психики других биологических видов прежде всего вопросом научной практики. С 70-х годов XX в. за этими исследованиями закрепилось название «психофизика животных» (*animal psychophysics*) после одноименного симпозиума (Stebbins, 1970). В России используется также термин «зоопсихофизика».

Однако прямой перенос методов, выработанных в исследованиях людей, на исследования животных возможен достаточно редко, в связи с чем последние имеют свою специфику. В немалой степени особенности этих исследований связаны с тем, что испытуемый-человек так или иначе получает от экспериментатора некоторые сведения о предстоящем эксперименте и том, что ему предстоит делать. Это происходит как в предшествующий исследованию период, так и в ходе самого исследования, и в особенности в ходе постановки задачи испытуемому.

Ключевая роль инструкции в психофизическом эксперименте осознавалась постепенно, наиболее остро она была акцентирована в предложенной Вудвортом и Шлосбергом (Woodworth and Schlosberg, 1963) формуле психофизического эксперимента:

$$R = f(S, A),$$

где R – реакция испытуемого на стимул S , а A – инструкция.

В работе, специально посвященной роли инструкции в психофизическом эксперименте, К. В. Бардин отмечает: «...инструкция является едва ли не столь же важной переменной, что и предъявляемый раздражитель» (Бардин, 1979, с. 106). Требование абсолютной идентичности инструкции продиктовано стремлением стабилизировать вторую переменную – в идеале сделать ее константой. Однако связь между R и A , отмечает Бардин, не является прямой, поскольку опосредована перцептивной деятельностью, протекающей у испытуемого во внутреннем плане. Поэтому более адекватной представляется другая формула Вудворта и Шлосберга:

$$R = f(S, O),$$

где O – испытуемый, точнее – его установка следовать полученной инструкции.

Однако при более детальном анализе и здесь обнаруживается, что одна и та же инструкция позволяет испытуемому решать фактически разные задачи, по-разному строить свою деятельность для достижения цели, что испытуемый может прибегнуть к самоинструкции (фактически переформулировать свою задачу) и т. д. С целью избежать беспорядочного и вызванного разнородными причинами разброса данных, а также получения данных о деятельности, не соответствующей замыслу эксперимента, потребовалась разработка специальных процедур задания инструкций, контроля и анализа деятельности испытуемого, а также способов обработки данных (в цитированной работе Бардина, например, перспектива корректного построения психофизического исследования сенсорной чувствительности связывалась с использованием методического приема варьирования параметров экспериментальной ситуации так называемыми платежными матрицами). Не углубляясь далее в детали построения психофизического эксперимента, отметим, что в интересующем нас аспекте проблемы так или иначе исследователь сталкивается с вопросами о том, насколько инструкция адекватна замыслу эксперимента, как понимает и принимает инструкцию испытуемый, как он при этом действует и какую задачу решает «на самом деле», как воспринимает и контролирует свою собственную деятельность.

Одной из основных особенностей проведения психофизического эксперимента с представителями других биологических видов яв-

ляется невозможность проинструктировать подопытных животных относительно того, что требуется от них в ситуации, в которую их помещает исследователь. Упоминания об использовании каких-либо словесных команд в процедуре собственно психофизического эксперимента, даже в случае синантропных видов (в частности, домашних животных) и высших антропоидов практически отсутствуют: исторически зоопсихологией и зоопсихофизикой в частности были найдены собственные решения этой проблемы.

Обычно введение психофизических методов в практику эмпирических и экспериментальных исследований психики животных относят к работам Йеркса и Уотсона (Yerkes and Watson, 1911), Леба (Loeb, 1918), Дженнингса (Jennings, 1923), которыми были предприняты попытки изучения сенсорных функций живых организмов по их поведенческому ответу на предъявляемый стимул. В качестве показателя реакции животного на предъявляемый стимул авторы этих работ принимали вызванное (вынужденное) движение (*forced movement*) по направлению к стимулу либо от него или ориентацию тела животного под некоторым углом по отношению к источнику стимуляции. В этих исследованиях впервые установлены некоторые зависимости путем измерения, например, сопоставления скорости движения животного или количества поворотов тела и интенсивности стимула. В тех же случаях, когда использовалась процедура предъявления стимула сразу большой группе представителей исследуемого вида, показателем реакции служило число животных, прореагировавших на стимул, при этом процентное отношение этого числа к общему количеству животных в группе принималось в качестве количественной оценки вероятности реакции животных данной популяции на стимул данной интенсивности.

В России уже в самом начале XX в. некоторые психофизические по своей сути методы использовались И. П. Павловым, Л. А. Орбели и их сотрудниками (Зеленый, 1907; см.: Кашкаров, 1928, с. 351; Орбели, 1908). Работы лаборатории Павлова и грузинских психологов по условным рефлексам позволили найти другое решение обозначенной выше проблемы организации исследований: на основе различных типов обусловливания были предложены и отработаны приемы и процедуры психофизического эксперимента, применимые как для животных разных таксономических групп, так и для работы исключительно с представителями конкретных видов. Дж. Уотсон (Watson, 1916) связывал с использованием условнорефлекторных методик и перспективу достижения объективности психологического эксперимента в исследованиях на человеке. Широкого распространения за пределы школы американского бихевиоризма при работе

с людьми такие методики не получили. Однако следует отметить достаточно удачные случаи их использования, в частности, отечественными психологами (и физиологами), иллюстрацией чему могут служить широко известные эксперименты по кожной чувствительности к цветному свету, выполненные А. Н. Леонтьевым при участии Н. Б. Познанской, В. И. Аснина, В. И. Дробанцевой и С. Я. Рубинштейн в 1936–1939 гг. (Леонтьев, 1999), а также специальные работы по формированию и изучению сенсорных условных рефлексов у человека, выполненные А. И. Богословским (1936) и рядом других исследователей. Тем не менее примечательно, что испытуемые у А. Н. Леонтьева получали предварительную словесную инструкцию, и именно при изменении инструкции, а в итоге и всего смысла деятельности испытуемых были сформированы реакции на действие света.

Анализируя принципы использования психофизических методов в исследованиях животных, один из основных организаторов симпозиума по зоопсихофизике У. Стеббинс (Stebbins, 1970) отметил, что ранние исследования вынуждены были опираться на естественные реакции животных, уже сложившиеся до какого-либо эксперимента, и это, по его мнению, было одним из серьезных ограничений подхода. В частности, это предполагало предварительное знание исследователя об исходном существовании коррелятивных связей между поведением животного и конкретным стимулом. Однако и при наличии такого знания круг решаемых вопросов все равно оставался довольно узким. По мысли Стеббинса, это ограничивало возможности эмпирического исследования, часто ставя его в зависимость от случайного везения, от удачи исследователя. При использовании условнорефлекторных методик и процедур исследователь получает определенную независимость от исходного наличия конкретной связи в поведенческом репертуаре животного. Например, неоднократное предъявление стимула, исходно не вызывающего наблюдаемого или измеряемого изменения в поведении животного, в паре с другим (безусловным) стимулом, реакция на который известна, вызывает в итоге условную реакцию на первый, прежде нейтральный стимул (классическое обусловливание).

Такая трактовка вопроса представляется сильно ограниченной по следующим причинам. Во-первых, «естественные реакции», о которых идет речь, т. е. изменения в поведении животных в определенных ситуациях, дают не такую уж малую основу для эмпирического изучения: о разнообразии поведенческого репертуара сотен видов на момент выполненного Стеббинсом анализа было достаточно хорошо известно, и это тем более справедливо в отношении современного уровня развития этологии. Во-вторых, смысл

обусловливания состоит не в том, знает или не знает исследователь о существовании какой-либо связи в поведенческом репертуаре животного – такое знание обязательно и для формирования условного рефлекса, а в формировании новой связи в нужном для исследователя отношении. В терминах рефлексов здесь лучше было бы провести водораздел между исследованиями, основанными на безусловных и на условных рефлексах. Отвлекаясь же и от рефлекторной, и от стимул-реактивной парадигмы, следует сказать о возможностях построения психофизического исследования с опорой либо на природные, естественные (как врожденные, так и приобретенные онтогенезе) качества изучаемого живого существа, либо на специально сформированные исследователем, и в этом смысле искусственные качества, которые при этом характеризуют его в психофизическом отношении. При втором подходе действительно возникают другие возможности, определяемые в значительной степени как способностью животного к научению, так и профессионализмом и изобретательностью исследователя.

С появлением и разработкой условнорефлекторных методик основная масса психофизических исследований представителей других биологических видов стала основываться именно на обусловливании. Это хорошо видно на примере отечественных работ. Так, в первой половине XX в. психофизическими методами в сочетании с обусловливанием, помимо упомянутой работы Зеленого по различению звуковых тонов и тембра и Орбели по различению цвета собаками, изучалось различение собаками временных интервалов (Усиевич, 1912; см.: Кашкаров, 1928, с. 119), вкусовая чувствительность собак (Гусев, 1940), различение зрительных стимулов у попугаев (Ладыгина-Котс, 1921), чувствительность рыб к звуку диапазона человеческого голоса (Фролов, 1923), различение цветов, формы, величины и деталей объектов у шимпанзе (Ладыгина-Котс, 1923, 1924), различение геометрических фигур, звуков по высоте и тембру (Васильев, 1933; Баяндуров, 1937), количества зерен злаков (Беритов, Ахметели, 1937) голубьями, различение количества орехов шимпанзе (Ладыгина-Котс, 1945), образование рефлексов на отношении величин у собак и обезьян (Рогинский, Тих, 1950; Хильченко, 1950а, б) и ряд других работ. Опубликованные психофизические исследования животных без процедуры обусловливания за этот период практически отсутствуют.

Во второй половине XX в. эта картина меняется очень незначительно. Количество психофизических работ с использованием различных процедур обусловливания возрастает многократно. Резко расширяется также и номенклатура исследуемых видов: помимо

изучения традиционных лабораторных млекопитающих: крысы, собаки, высшие и низшие обезьяны, исследователи обращаются к волкам (Корытин, Азбукина, 1986), ежам (Малюкова, 1981), дельфинам (Кузнецов, 1986) и другим свободноживущим животным, а также к лошадям и овцам (Павлик, 1953). Среди птиц в дополнение к домашним голубям внимание исследователей привлекают врановые (Зорина, Смирнова, 1995, 1996, 2000, Зорина и др., 1989, 1991). Из низших позвоночных в сферу внимания исследователей попадают рептилии (черепаха) и головастики бесхвостых амфибий (Фролов, 1953; Бианки, 1967; Сергеев, 1972; Сихарулидзе, 1972; Сафаров, 1974, 1979; Малюкова, 1978, 1981; Карамян, Малюкова, 1979) и представители нескольких семейств рыб (Праздников, 1966, 1967а, 1967б; Карамян и др., 1967; Протасов, 1968, 1978; Якименко, 1975; Карамян, Малюкова, 1979). Проводятся также исследования на беспозвоночных: ракообразные – ресничные раки (Карась, 1964), дафнии (Коган, Семенов, 1955) насекомые – пчелы (Воскресенская, Лопатина, 1952; Мазохин-Поршняков, 1968, 1969, 1970, 1974; Францевич, 1980). Предметом исследования является по преимуществу абсолютная и дифференциальная чувствительность в разных модальностях: зрение у позвоночных и беспозвоночных, слух у высших позвоночных и сейсмо-акустическое чувство у низших и беспозвоночных, обоняние и вкус у высших позвоночных и хемочувствительность у низших позвоночных и беспозвоночных и некоторые другие виды чувствительности. Общее количество работ, которые могут быть отнесены к этой линии зоопсихофизики, исчисляется сотнями.

В то же время психофизические исследования обоняния и вкуса у собак (Черниговский, 1962; Уголев, Кассиль, 1965), слуха у дельфинов (Морозов и др., 1971), рецепции движения (Пигарев, Зенкин, 1970; Мантейфель, 1977), локализации источника звука (Бианки, 1961; Протасов, Романенко, 1962; Протасов и др., 1965), зрения, обоняния, механо-, электро- и хемочувствительности у рыб (Павлов, Сбикин, 1967; Зенкин, Пигарев, 1969; Богатырев, 1970; Ильинский и др., 1971; Марусов, 1975; Протасов, 1978; Ильичев, Вилкс, 1978; Солуха и др., 1991; Селиванова, Скотникова, 2007), слуха сверчков (Шувалов, Попов, 1976, 1979; Попов, 1985а, 1985б), сейсмочувствительности одноклеточных (Серавин, 1962; Серавин и др., 1978) были построены без использования методик с выработкой условного рефлекса. Однако количество исследований, идущих этим путем, почти на порядок меньше, чем использующих обусловливание.

Сходная картина наблюдается и в зарубежных исследованиях.

Разумеется, нами здесь приведена далеко не полная выборка даже отечественных зоопсихологических работ, в которых использо-

ваны психофизические методы. Кроме того, в нее не попали фундаментальные труды упомянутых и многих других авторов, в которых психофизические методы применялись в качестве дополнительных к другим, например, физиологическим. Достаточно полный обзор такого рода исследований составляет отдельную задачу: нам же важно было выделить две основных линии, два подхода, связанных с разным исходными представлениями о том, какого типа исследование адекватно с психофизической точки зрения характеризует изучаемое животное.

Оставляя в стороне проблему сопоставимости данных, полученных в отсутствие и при наличии обусловливания, зададимся следующими вопросами. Возможно ли сближение этих двух путей развития зоопсихофизики? Почему психофизические исследования на животных, не использующие обусловливание, или, скажем шире, тот или иной тип обучения, так редки в сравнении с теми, в которых обусловливание или предварительное обучение используется? Наконец, каковы перспективы развития зоопсихофизики?

В поиске ответа на эти вопросы рассмотрим разные методы, использующиеся для изучения дифференциальной хемочувствительности и распознавания химических стимулов у обитателей водной среды – гидробионтов.

Высокая дифференциальная хемочувствительность – залог успешной детекции малых приращений химического стимула и, следовательно, способности ориентироваться в градиенте химического стимула и находить его источник. В исследованиях способности рыб и других гидробионтов ориентироваться на источник химического стимула величина стимула, необходимая для запуска целенаправленной поведенческой (локомоторной) реакции определялась редко (Teichmann, 1959). Несколько чаще специально или параллельно с основной задачей решался вопрос о веществах или других параметрах потока, запускающих локомоцию и поисковое поведение, но основное внимание уделялось механизмам ориентации и регистрировались траектории перемещений, число, направление и градус углов поворотов, их частота, длительность остановок и т. д., т. е. пространственно-временные характеристики локомоторного поведения (см., например: Teichmann, 1959; Timms, Kleerekoper, 1972, а также обзоры: Kleerekoper, 1969, 1982).

В природных условиях у гидробионтов существует необходимость выбирать между потоками с разными по качеству химическими стимулами. Поэтому кроме высокой дифференциальной хемочувствительности, т. е. способности различать близкие концентрации (количества) одного химического стимула, рыбы и другие

гидробионты должны обладать способностью различать близкие по качеству, но разные по структуре или другим параметрам химические стимулы. Чем более эти стимулы сходны по своей химической природе, тем большей различительной способностью должны обладать животные, чтобы выбрать нужный поток.

При изучении и оценке различительной чувствительности (А) и способности гидробионтов к распознаванию химических стимулов (Б) используются в принципе сходные методы. 1) Метод регистрации разного рода поведенческих реакций у наивных (т. е. предварительно не обученных и не экспонированных, выдержанных в среде с концентрацией тестового вещества, отличающейся от природной) животных (McClintock et al., 1984; Trott, Robertson, 1984; Ache, Derby, 1985; Мантейфель и др., 1987; Jones, 1989; Mearns, 1989; Мантейфель, Гончарова, 1992; Daniel, Derby, 1991; Zimmer-Faust, 1991; Doving et al., 1994 – при (А) и Thunberg, 1971; Timms, Kleerekoper, 1972; Barnett, 1981, 1982; Pesaro et al., 1981; Палатников, 1983; Berti, 1983; Quinn et al., 1983; Saglio, Blanc, 1983; Sorensen, 1983; Hert, 1985; Olsen, 1985; Stabell, 1987; De Fraipont, Thines, 1986; Johnsen, Adams, 1986; Quinn, Hara, 1986; Quinn, Tolson, 1986; Rose, 1986; De Fraipont, 1987; Zimmer-Faust, 1987; Belvedere et al., 1988; Киселева, 1993; Petranka, 1989; Oh, Dunham, 1991; Joly, Miaud, 1993; Utne, Vacchi, 1997; Berkey, Atema, 1999 – при (Б), это главным образом парный или множественный выбор и реже – реакция сосредоточения или разрежения в месте подачи стимула (Petranka, 1989). 2) Метод регистрации поведенческих реакций у активно (путем выработки условного рефлекса с положительным или отрицательным подкреплением) или пассивно (путем экспонирования в среде с тестовым веществом) обученных животных (Bull, 1928, 1930, 1952; Marcstrom, 1959; Teichmann, 1959; Neuhaus, Appelbaum, 1980; Виноградова и Мантейфель, 1987 – при (А) и Trudel, 1929; Neurath, 1949; Walker, Hasler, 1949; Hasler, Wisby, 1951; Hasler, 1954; Teichmann, 1959; Wells, 1963; Little, 1983 (для регистрации – по определению автора поведенческой реакции – применяется мониторинг частоты сердечных сокращений); Crapon de Carpona, 1982; Dodson, Bitterman, 1989; Tosi et al., 1990; Хорошилова и Мантейфель, 1998; Zippel et al., 1993; Lynn et al., 1994; Карелина и Мантейфель, 1999а, б – при (Б)). 3) Метод регистрации электрофизиологических реакций у наивных животных (Boudreau, 1962; Fuzessery et al., 1978; Thompson, Ache, 1980; Derby, Atema, 1982; Yoshii et al., 1982; Палатников, 1983, 1984; Kawamura, Yamashita, 1983; Johnson et al., 1984; Ache, Derby, 1985; Zeiske et al., 1986; Johnsen et al., 1988, 1990; Derby et al., 1991; Michel & Lubomudrov, 1995; Kohbara et al., 2000; Червова, Лапшин, 2002; Hubbard et al., 2002 – при (А)

и Doving, 1966; Ueda et al., 1967; Sutterlin, Sutterlin, 1970; Doving et al., 1974, 1980, 1985; Satou, Ueda, 1975; MacLeod, 1976; Caprio, 1978; Девицина и др., 1985; Ueda, 1985; Harumi, Kiyonori, 1990; Kohbara et al., 1992; Caprio et al., 1993; Циппель и др., 1995; Lipschitz, Michel, 1999 – при (Б)). 4) Метод регистрации электрофизиологических реакций у обученных животных (Сергеева, 1975; Johnstone, 1980 – при (А) и Suzuki, 1973; Мантейфель и др., 1995 – при (Б), во всех четырех случаях показателем реакции служил условный кардиальный рефлекс, то есть регистрировалась ЭКГ).

Существует немало работ, где при изучении способности к распознаванию или хемочувствительности гидробионтов параллельно применялись разные методы:

1) регистрация поведенческой реакции у наивных и у обученных животных (Киселева, 1983; Waldman, 1985; Fine-Levi et al., 1988; Keefe, Winn, 1991; Keefe et al., 1991; Courtenay et al., 2001); 2) регистрация электрофизиологической реакции у наивных и у обученных животных (Hara, Brown, 1979; Sato et al., 2000); 3) регистрация электрофизиологических реакций у наивных рыб, а поведенческих – у обученных (Valentincic, Koce, 2000; Valentincic et al., 2000b); 4) регистрация поведенческой и электрофизиологической (ЭКГ) реакций у наивных рыб (Groot et al., 1986); 5) регистрация поведенческой реакции и определение гормонального статуса (по биохимическим показателям крови) у наивных рыб (Bjerselius et al., 1995); 6) регистрация поведенческой и электрофизиологической реакций, а также морфологические исследования с использованием обученных рыб (Zippel, Breipohl, 1975).

При изучении морфофункциональной основы, обеспечивающей способность гидробионтов к распознаванию химических веществ, применялись следующие методики: биохимические с использованием меченых веществ (работы отечественных и израильских исследователей под руководством Е. Е. Фесенко и R. H. Cagan), электрофизиологические с регистрацией стабильно воспроизводимых разнокачественных ответов на разные вещества (Fuzessery et al., 1978; Doving et al., 1980; Johnson et al., 1984; Kohbara et al., 1992; Caprio et al., 1993), электрофизиологические в сочетании с биохимическими (например, работы группы Е. Е. Фесенко), поведенческая в сочетании с биохимической и электрофизиологическая в сочетании с морфологической (работы норвежской группы, возглавляемой К. Довингом).

У беспозвоночных (главным образом ракообразных) гидробионтов в поведенческих опытах регистрируются ритмические движения антеннул (первой пары подвижных членистых придатков головы, иннервирующихся от головного мозга – надглоточного

ганглия), ответственных за нюх (Ache, Derby, 1985; Daniel, Derby, 1991; Oh, Dunham, 1991; Zimmer-Faust, 1991), сокращение конечности с клешней, несущей вкусовые рецепторы (Trott, Robertson, 1984), хемотаксические ответы (McClintock et al., 1984) и набор движений, характеризующих пищевое поведение (Zimmer-Faust, 1987, 1991), а в электрофизиологических опытах регистрируется электрическая активность «обонятельных» хеморецепторов антеннул (Fuzessery et al., 1978; Thompson, Ache, 1980; Derby et al., 1991) и «вкусовых» хеморецепторов ходильных ног (у ракообразных из нескольких пар грудных ног передние пары – хватательные, остальные – ходильные) (Derby, Atema, 1982; Johnson et al., 1984).

У амфибий и водных рептилий в поведенческих опытах, не использующих методику парного выбора, регистрируются частота челюстных тестирующих движений (Мантейфель и Гончарова, 1992, и др. работы этих авторов) и реакция сосредоточения-разрежения в месте подачи стимула (Petranka, 1989), а в электрофизиологических опытах регистрируется электрическая активность вкусового нерва (Yoshii et al., 1982).

У рыб и амфибий в поведенческих опытах при использовании метода парного или многовариантного выбора учитывается частота предпочтения рукава лабиринта или отсека аквариума с определенным химическим стимулом, а при использовании условнорефлекторных методик учитывается частота правильных проявлений реакций привлечения или избегания по отношению к условному стимулу. Также в поведенческих опытах применяется аппаратурная или визуальная регистрация локомоторной активности рыб (Мантейфель и др., 1987; Doving et al., 1994; Bjerselius et al., 1995), визуальная регистрация всего поведенческого паттерна личинок рыб (Mearns, 1989) и учет времени удерживания рыбами во рту ароматизированных гранул (Jones, 1989).

В электрофизиологических опытах у рыб регистрируется электрическая активность клеток обонятельного эпителия, т. е. электроольфактограмма – ЭОГ (Caprio, 1978; Groot et al., 1986; Zeiske et al., 1986; Johnsen et al., 1988; Michel, Lubomudrov, 1995; Lipschitz, Michel, 1999; Valentincic & Koce, 2000; Valentincic et al., 2000a, b), электрическая активность волокон обонятельного нерва (Sato et al., 2000 и др. работы этой группы авторов), электрическая активность вторичных нейронов от обонятельного тракта (Boudreau, 1962; Doving, 1966; Девицина и др., 1985) и электрическая активность (в том числе и суммарная, т. е. ЭЭГ) обонятельных луковиц (Ueda et al., 1967; Doving et al., 1974, 1980; Satou, Ueda, 1975; Zippel & Breipohl, 1975; MacLeod, 1976; Hara, Brown, 1979; Палатников, 1983, 1984; Doving

et al., 1985; Ueda, 1985; Harumi, Kiyonori, 1990; Циппель и др., 1995; Kohbara et al., 2000; Hubbard et al., 2002), электрическая активность лицевого (Sutterlin, Sutterlin, 1970; Девидина и др., 1985; Johnsen et al., 1990), вкусового (Caprio, 1978; Johnsen et al., 1990; Kohbara et al., 1992, 2000) и тройничного (Девидина и др., 1985) нервов, периферического нерва, иннервирующего органы боковой линии (Kawamura, Yamashita, 1983), а также электрическая активность кожных хеморецепторов (Червова и Лапшин, 2002) и хеморецепторов третьего луча грудного плавника. В некоторых электрофизиологических опытах у предварительно обученных рыб (Suzuki, 1973; Сергеева, 1975; Johnstone, 1980; Мантейфель и др., 1995) в ответ на предъявление химических стимулов регистрируется частота сердечных сокращений (ЭКГ).

При регистрации поведенческих реакций беспозвоночных (характерные движения антеннул, клешней и т. п.), а также в электрофизиологических опытах по понятным причинам используются одиночные особи. При регистрации поведенческих реакций рыб и амфибий в равной мере используются *одиночные особи* (например: Thunberg, 1971; Timms & Kleerekoper, 1972; Berti, 1983; Olsen, 1985; Waldman, 1985; Johnsen, Adams, 1986; Карелина и Мантейфель, 1999а, б – эти работы посвящены изучению способности к распознаванию) и *группы животных* (например: Walker, Hasler, 1949; Barnett, 1981, 1982; Pesaro et al., 1981; Палатников, 1983; Saglio, Blanc, 1983; Sorensen, 1983; Petranka, 1989; Tosi et al., 1990; Хорошилова и Мантейфель, 1998 – изучение способности к распознаванию; Neuhaus, Arpelbaum, 1980; Мантейфель и др., 1987 – изучение чувствительности).

Используя методики парного или множественного выбора, исследователь имеет возможность одновременно предъявлять разные химические стимулы и непосредственно по результатам наблюдений судить о способности подопытных животных к распознаванию/различению. Во всех остальных случаях, наблюдая поведенческие реакции при последовательном предъявлении стимулов или регистрируя электрофизиологические реакции (что само по себе исключает одновременное проявление реакций на предъявление двух и более сравниваемых стимулов), – мы судим о способности животных к распознаванию/различению только по достоверному отличию их реакций на предъявляемые стимулы. Экспериментальный протокол при разновременном предъявлении стимулов, как правило, включает два и более интервалов регистрации активности: фоновый и тестовый (Thunberg, 1971; Павлов, 1980; Кружалов, 1990, и др.), контрольный и тестовый (Zippel et al., 1993 и др.), фоновый, контрольный и тестовый (Pearson, Miller, 1980), контрольный, тестовый

и послетестовый (Scarfe et al., 1985), контрольный и три тестовых с чередованием предъявлений двух стимулов (Magurran, 1989) или фоновый, контрольный, тестовый и послетестовый (Mearns, 1989 и предшествующие работы этого автора). При этом регистрируется двигательная (локомоторная) активность (Saglio, Blanc, 1983 и др.), местоположение (Marcstrom, 1959; Кружалов, 1990 и др.), то и другое одновременно (Thunberg, 1971; Scarfe et al., 1985, полный поведенческий паттерн (Mearns, 1989 и др. работы) или отдельные специфические реакции (Magurran, 1989; Zippel et al., 1993 и др.). Регистрация отдельных элементов специфической реакции гидробионтов – двигательной активности и местоположения – производится как визуально, так и аппаратно, с помощью фотоэлементов (Marcstrom, Steinholtz, 1982 и др.) или видеокамеры (Scarfe et al., 1985). Длительность отдельных интервалов регистрации в конкретной серии опытов обычно одинакова (исключение – работы Scarfe et al., 1985 и др., где послетестовый интервал в 2 раза длиннее контрольного или где тестовый интервал в 2,5 раза длиннее фонового) и составляет от 10 секунд в электрофизиологическом (Павлов, 1980) и от 2 минут в поведенческих (Кружалов, 1990 и др.) опытах до 10 минут в поведенческих опытах (Thunberg, 1971 и др.). Поскольку за минуту и более длительный период можно наблюдать многократное изменение ответной реакции, то для учета параметров реакции отдельные интервалы разбиваются на более короткие и равные по длительности микроинтервалы – отсчеты, протяженность которых зависит от реактивности животных и достигает 15 секунд (Кружалов, 1990). На протяжении отсчета измеряемый параметр может учитываться одномоментно (например, покадровая фотосъемка траектории движения на фоне размеченного дна с интервалом в 5 секунд) или усредненно за отсчет (например, при непрерывной регистрации числа рыб в определенном секторе экспериментального бокса с помощью самописца-актографа, видеокамеры или визуальных наблюдений).

При сравнении реакций на разные стимулы для статистической обработки данных отдельные экспериментаторы применяют параметрический t-критерий Стьюдента (Кружалов, 1990 и др.), критерий согласия Пирсона хи-квадрат (Scarfe et al., 1985), метод Тьюки (Mearns, 1989 и др. работы) или непараметрический знаково-ранговый критерий Вилкоксона (работы Ю. Б. Мантейфеля с соавт.). В био- и психометрических руководствах для целей сравнения реакций на разные стимулы также рекомендуется применение непараметрического критерия Колмогорова-Смирнова (Smith, 1984; Сидоренко, 2001).

Данный краткий обзор представляет практически все многообразие методических подходов и методик, применявшихся при исследовании различительной хемочувствительности гидробионтов. Их использование привело к накоплению большого объема данных по разным группам живых организмов, но пределы распознавания химических стимулов и хемочувствительности на поведенческом уровне у необученных животных с их помощью так и не были найдены. Другими словами, не была достигнута одна из основных целей любого зоопсихологического исследования, а именно: определить характеристики исследуемого процесса или явления в его естественном проявлении, в естественных условиях, т. е. чем они являются и как проявляются на самом деле.

Для постановки ключевых экспериментов одним из авторов данной статьи, Л. А. Селивановой (Селиванова, Скотникова, 2007), была предложена оригинальная версия подхода, сочетавшего достоинства ранее разработанных методик измерения чувствительности, ориентированных перемещений и специализированных актов рыб в полях химических раздражителей (Солуха, 1989), представлявших адаптацию психофизических методик, и методику, основанную на известном феномене угасания реакции на стимул при его многократном применении, ранее использовавшуюся только в исследованиях детей и наземных млекопитающих – habituation-discrimination test (Schultze-Westrum, 1969; Halpin, 1974, 1986; Сергиенко, 2003; Сифарт, Чини, 2003; Lindsay, Vogt, 2004; Карасева, Васильева, 2005; Литвинова, Васильева, 2005). Поскольку электрофизиологическая активность, не сопровождаемая выраженной поведенческой реакцией, для достижения цели исследования малоинформативна, так как, с одной стороны, необходимо достижение порога, что у животного по поведенческой реакции и фиксируется, а с другой стороны, пороги могут варьировать в зависимости от характера жизнедеятельности, что тоже фиксируется по поведению, постольку было сделано заключение о достаточности психофизических методов и электрофизиологическая регистрация не использовалась. Объектом исследования были специально не обученные (наивные) мальки осетра, фоновые условия проведения опытов максимально соответствовали природным по химическим и физическим свойствам водной среды, стимулы моделировали естественную пищу, опыты проводились в свободном поведении животных, в качестве показателя реакции использовались качественные и количественные характеристики пребывания мальков осетра в зоне максимального действия стимула, экспериментальная процедура, регистрация и обработка данных проводились в соответствии с принятыми в психофизике стандар-

тами. В результате определен рубеж первого проявления хемочувствительности к пищевым и видовым стимулам (у осетра – в возрасте предличинки), обнаружены поведенческое проявление хемочувствительности на тонкие различия в составе моделей пищевых стимулов (структурные изомеры и химически неразличимые стереоизомеры аминокислот) и зависимость интенсивности специфической реакции от уровня пищевой мотивации, установлена высокая дифференциальная чувствительность к природным химическим стимулам и определен диапазон фоновых концентраций, в котором закон Вебера выполняется в логарифмических единицах: $\lg(\Delta C/C = \text{const})$. Установлено также, что дифференциальная чувствительность рыб к природным химическим стимулам экологически обусловлена и зависит от фонового содержания соответствующих веществ в среде.

Понятно, что в связи с предложенным нами разграничением двух линий зоопсихофизических исследований эту работу следует отнести ко второй, более редкой группе. Но на этом примере видно также, что исследователь в данном случае исходил не столько из известных способов и инструментов познания, не столько из гносеологического отношения к объекту, сколько предварительно наметил несколько иную онтологию, избрав в качестве объекта исследования события, характерные для естественной жизнедеятельности рыб определенного возрастного диапазона, сконструировал предмет исследования, выбрал и сконструировал адекватные методы для его изучения.

Хемочувствительность – филогенетически наиболее древняя модальность – является основной во взаимодействии гидробионтов друг с другом и со средой, обеспечивая или сопровождая самые разные формы их жизнедеятельности: поиск и захват пищи, поиск и обнаружение полового партнера, избегание хищников и некоторых других опасностей, хоминг-нерестовую миграцию рыб из моря или крупного пресноводного водоему в речку или ручей, в котором они появились на свет и дают жизнь новым поколениям. Отсюда важную роль сыграло предварительное изучение состава среды, тех ее компонентов, которые тем или иным способом включаются животным в свою жизнедеятельность (или от которых животное «отстраивается»). Результаты исследований в этой области позволили сконструировать экспериментальную среду, которая была не только максимально приближена к естественной, но и уверенно контролировалась экспериментатором вместе с вносимыми в нее изменениями и происходящими событиями, что в конечном итоге предопределило возможность достижения цели исследования не в меньшей степени, чем корректное использование арсенала психофизических методик.

Что же касается первого пути, наиболее разработанного и хорошо оснащенного методологически и методически, то он отличается тем, что в той или иной форме в нем присутствуют элементы научения, формируемые преднамеренно (разные виды обусловливания, как вариант – дрессура, разные виды и способы обучения, играющие в целом ту же роль, что и инструкция для испытуемого-человека), либо формирующиеся в ходе реализации самой экспериментальной процедуры (самообучение, опытный испытуемый). В работах второго типа обучение либо невозможно (не все виды обучаемы – другой вопрос, необучаемые из-за ограниченности нашего знания о них, либо в принципе), либо нежелательно, как в описанном только что исследовании, либо просто не используется как избыточное для достижения цели исследования. Возможность, когда таковая существует, специально подготовить животное к деятельности определенного типа дает практически неисчерпаемый источник психофизической информации о представителях разных видов, и, вероятно, в этом смысле частично прав Стеббинс, говоря об ограниченности второго пути. Представляется, однако, что ограниченность второго подхода не является принципиальной и практически целиком сводится к недостатку информации о жизнедеятельности видов, существование которых до сих пор было незначимо для человека. Поэтому можно предположить, что частично ответ на вопрос о превалировании исследований первого типа над вторыми сводится именно к возможности быстро получить результат, хотя, как мы видели на примере изучения хемочувствительности у гидробионтов, и не всегда удовлетворяющий исследователя. Работа со сложными объектами типа компонентов среды, взаимодействия животных (особи, группы или другой живой системы) между собой с особями других видов, со средой и т. д. требует изучения целых иерархий, конгломератов или кластеров систем и учета многократно превосходящих их количественно связей и отношений. Использование «наивных», необученных (необучаемых?) животных требует детального изучения событийного ряда, из которого складывается их жизнедеятельность. Планирование эмпирического исследования, тем более психофизического эксперимента, предполагает чаще всего существенную модификацию инструментов исследователя с учетом анатомии, морфофункциональных и поведенческих особенностей данного биологического вида, а у высших позвоночных – иногда и конкретной особи, типа и характера «сигнала» внешней среды, реконструкции релевантных связей и отношений (условий). В этом случае есть надежда, что конструируемая в эксперименте модель события окажется адекватной реальной жизнедеятельности.

Естественно, тем ценнее получаемые таким путем данные, но скорый результат на этом пути можно получить только случайно.

Возможности сближения и даже частичного синтеза обоих путей также имеются. Представленное выше описание реальных исследований разных авторов показывает, что в «чистом виде» они встречаются довольно редко. Чаще экспериментальные программы предполагают использование психофизиологических и нейрофизиологических методов, которые всегда были источником дополнительной информации о соответствующих основаниях психофизических феноменов, а также проведение морфофункциональных и биохимических исследований. Возможен обмен данными этологического и экологического характера, которые обязательны для второй линии, а также заимствование с последующей модификацией психофизических методик, отработанных в первой группе исследований. Что же касается линии, по которой проведен водораздел, то и здесь есть некоторые возможности не только для сближения, но и для синтеза, хотя, на первый взгляд, процедура обусловливания или обучения сразу переносит исследование из второй группы в первую. Но существует феномен угасания рефлекса, требующий, правда, специального изучения для каждого конкретного случая на предмет проверки глубины угасания и сравнения скорости его восстановления со скоростью первоначального обусловливания (то же касается и обучения, хотя в этом случае все сложнее: феномен угасания, особенно у вышших позвоночных, здесь часто выражен слабо). Следует отметить еще два феномена, интересных с точки зрения возможного синтеза, оба они имеют трудно переводимые на русский язык названия. Один из них – «learned instinct», не самый худший перевод которого «инстинктивное научение» несколько двусмыслен, – представляет собой «доучивание» инстинктивной основы элементарного поведенческого репертуара. У некоторых певчих птиц, например, существует «базовая песня», которую реализует любой взрослый самец, даже если находился вне контакта с сородичами с момента вылупления из яйца. Другую часть песни он усваивает только через научение от поющих взрослых самцов, она довольно сильно различается в разных популяциях одного и того же вида. Таким образом, полная песня появляется только в случае, если инстинкт был соответствующим образом достроен, «обучен». Поскольку такое научение не является «искусственным», оно может быть встроено в эксперимент второго типа, тем более что получить версию полной песни от взрослой особи того же вида несложно. Второй феномен был обнаружен также у птиц. Определение «prejudiced», производное от слова «prejudice» – предрассудок в значении «бессмысленное и упорное заблуждение»,

при калькировании на русский дает нежелательную примесь смысла: «предрассудочное» поведение воспринимается частично и как «дорассудочное». В английском языке такого побочного смысла нет, поскольку речь идет о случайном включении в состав поведенческого акта ненужного элемента, который в случае успешности акта может закрепиться. Феномен обнаружен у подопытных голубей, обучавшихся клевать определенную кнопку для получения вознаграждения. Если при приближении к кнопке и перед клевком голубь случайно делал еще что-то – например, оправлял перья, – то эта ненужная для достижения цели «вставка» часто закреплялась в дальнейшем поведении, создавая впечатление, что голубь имеет своеобразный «предрассудок» – «перед тем, как клюнуть кнопку, надо привести себя в порядок». Феномен «prejudiced behavior» достаточно широко распространен у многих видов высших позвоночных (вероятно, включая и человека, хотя это, возможно, всего лишь аналогия). Будучи не элементом обучения со стороны экспериментатора, а результатом проявления некоторой внутренней предрасположенности, этот феномен может быть использован в обоих подходах.

Примечательно, что в современной психофизике, как и в других областях психологических исследований человека, существует сильная тенденция к построению научной работы по принципу, когда выявление и описание того, какое событие среды испытуемый считает для себя «сигналом», «стимулом» или «раздражителем» (контекстно-связанные различия в этих терминах из разных областей в данном случае не важны), составляет не предварительную «пилотажную», а существенную часть психофизического исследования. Здесь мы имеем в виду работы В. Н. Носуленко и его коллег по восприятию событий в повседневной жизни, деятельности и общении (Барабанщиков, Носуленко, 2004 и мн. др.). Событие, событие как процесс и как факт взаимодействия наделенного психикой организма со средой, изучение которого предполагает наиболее полное включение в область исследовательского интереса как изучаемого процесса, так и самих людей и окружающей среды в конкретных эпизодах взаимодействия, является одним из основных понятий предложенного В. А. Барабанщиковым онтологического подхода к изучению психики (Барабанщиков, 2002, 2006; Барабанщиков, Носуленко, 2004), предполагающего, в частности, органичное использование и классических, и неклассических психофизических методов. Новое осмысление зоопсихофизической онтологии в рамках событийных представлений может оказаться естественной теоретической основой для дальнейшего развития зоопсихофизики. По крайней мере, последнее из описанных здесь исследований

хемочувствительности гидробионтов, принадлежащее второму пути развития зоопсихофизики, убеждает, что для такого предположения имеются весьма серьезные основания.

Что касается перспектив обоих путей зоопсихофизики, то прямая экстраполяция в будущее существующих ныне тенденций дает основание ожидать от первого пути прежде всего накопления информации о сенсорных *возможностях* живых существ. Вторая перспектива связана со вторым путем: прямая экстраполяция дает здесь надежду на описание максимального количества *реализаций* сенсорных возможностей.

Менее очевидна третья перспектива. Она связана с взаимодополнением и синтезом исследований, идущих по обоим путям, и должна опираться, прежде всего, на новое видение психологической онтологии и, следовательно, новое использование психофизической методологии. Это предполагает, в частности, адаптацию методов, процедур и конкретных методик к задачам изучения жизненных ситуаций всего разнообразия живых систем как по биологической номенклатуре, так и по внутри- и межсистемной организации. По мере накопления информации это могло бы дать материал для описания и сравнительного изучения всего потенциала сенсорно-перцептивных возможностей живых систем и их конкретных реализаций, поставить вопрос о природных основаниях психогенеза, путях и закономерностях эволюции психики.

ЛИТЕРАТУРА

- Барабанщиков В. А. Восприятие и событие. СПб.: Алетейя, 2002.
- Барабанщиков В. А. Психология восприятия. Организация и развитие перцептивного процесса. М.: Когито-Центр, 2006.
- Барабанщиков В. А., Носуленко В. Н. Системность. Восприятие. Общение. М., 2004.
- Бардин К. В. Инструкция в психофизическом эксперименте // Психофизика сенсорных систем. М.: Наука, 1979.
- Баяндуров Б. И. Условные рефлексы у птиц. Томск: Красное знамя, 1937.
- Беритов И. С., Ахметели М. О роли внешнего вида пищи в индивидуальном поведении голубей // Труды Института им. Бериташвили. Тбилиси, 1937. С. 375–394.
- Бианки В. Л. Эволюция парной функции мозговых полушарий. Л., 1967.
- Бианки В. Л. Пространственный анализ и билатеральная симметрия головного мозга рыб. Слуховой пространственный анализ // Вестник Ленинградского ун-та. 1961. №3.
- Богатырев П. Б. Некоторые элементы пространственного зрения рыб // Биологические основы управления поведением рыб. М., 1970. С. 150–160.

- Богословский А. И. Опыт выработки сенсорных условных рефлексов у человека // Физиол. журн. СССР. 1936. Т. XX. № 6.
- Васильев М. П. (Vasiliev M. P.) Ueber das Unterscheidungsvermögen der Vögel für die hohen Töne // Z. Vergl. Physiol. 1933. Bd. 19.
- Виноградова В. М., Мантейфель Ю. Б. Чувствительность гуппи *Poecilia reticulata* к искусственным обонятельным раздражителям и к естественному пищевому стимулу, определенная по условнорефлекторной пищевой реакции // Вопр. ихтиол. 1987. Т. 27. № 5. С. 872–875.
- Воскресенская А. К., Лопатина Н. Г. Образование и угасание условных рефлексов у пчел // Журн. общ. биол. 1952. Т. 13. С. 421–434.
- Гусев Н. К. Изменение вкусовой чувствительности в связи с динамикой потребности в пище // Исследования по проблеме чувствительности: Труды Гос. инст. по изучению мозга им. В. М. Бехтерева. Л., 1940. Т. 13. С. 156–168.
- Девуцына Г. В., Червова Л. С., Белоусова Т. А., Малюкина Г. А. О химической чувствительности беломорской трески // Пробл. изуч., рац. использ. и охраны природ. ресурсов Белого моря. Тез. докл. Регион. конф. Архангельск, 1985. С. 213–214.
- Зеленый Г. П. Материалы к вопросу о реакции собаки на звуковые раздражения: Дис. ... докт. медицины. СПб., 1907.
- Зенкин Г. М., Пигарев И. Н. Детекторные свойства ганглиозных клеток сетчатки щуки // Биофизика. 1969. Т. 14. № 4. С. 722–730.
- Зорина З. А., Смирнова А. А. Количественные оценки у серых ворон: обобщение по относительному признаку «большее множество» // Журн. высш. нерв. деят. 1995. Т. 26. № 1. С. 127–131.
- Зорина З. А., Смирнова А. А. Количественная оценка серой вороной множеств, состоящих из 15–25 элементов // Журн. высш. нерв. деят. 1996. Т. 46. № 2. С. 298–301.
- Зорина З. А., Смирнова А. А. Эволюционные аспекты проблемы обобщения и абстрагирования у птиц (довербальное понятие «число») // Современ. концепции эволюц. генетики. Сб. трудов, посв. памяти акад. Д. К. Беляева. Новосибирск. 2000. С. 297–303.
- Зорина З. А., Калинина Т. С., Маркина Н. В. Способность к обучению у ворон и голубей: формирование системы дифференцировок стимулов по цвету при нарастающем подкреплении // Журн. высш. нерв. деят. 1989. Т. 39. № 4. С. 660–666.
- Зорина З. А., Калинина Т. С., Майорова Н. Е. и др. Относительные количественные оценки у ворон и голубей при экстренном сопоставлении стимулов, ранее связанных с разными качествами подкрепления // Журн. высш. нерв. деят. 1991. Т. 41. № 2. С. 306–313.
- Ильинский О. Б., Броун Г. Р., Полонников Р. И. Электрорецепторные структуры и их роль в ориентационном поведении // Анализаторные системы и ориентационное поведение птиц. М. 1971. С. 26–27.

- Ильичев В. Д., Вилкс Е. К. Пространственная ориентация птиц. М.: Наука. 1978.
- Карамян А. И., Малюкова И. В. Особенности хранения следов условных реакций у различных представителей позвоночных // Нейрофизиологические основы памяти. VII Гагрские беседы. Тбилиси, 1979. С. 231–246.
- Карамян А. И., Малюкова И. В., Сергеев Б. Ф. Участие конечного мозга костистых рыб в осуществлении сложных условнорефлекторных и общеповеденческих реакций // Поведение и рецепции рыб. М.: Наука. 1967. С. 109–114.
- Карасева Е. В., Васильева Н. Ю. Реакция на двухкомпонентные запаховые метки у самцов джунгарского хомячка // Поведение и поведенческая экология млекопитающих. Материалы научной конференции. М.: ИПЭЭ им. А. Н. Северцова РАН. Т-во научных изданий КМК, 2005. С. 186–188.
- Карась А. Я. Некоторые особенности условнорефлекторной деятельности высших ракообразных: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1964.
- Карелина М. А., Мантейфель Ю. Б. Различение L-аминокислотных стимулов золотой рыбка *Carassius auratus auratus* при условном избегании пищи // Докл. РАН. 1999а. Т. 369. № 1. С. 138–140.
- Карелина М. А., Мантейфель Ю. Б. Узнавание L-аминокислотных стимулов золотой рыбка *Carassius auratus auratus* при условном избегании пищи // Сенсор. системы. 1999б. Т. 13. № 2. С. 137–143.
- Кашкаров Д. Н. Современные успехи зоопсихологии. М. – Л.: Гос. изд., 1928.
- Киселева Е. И. Чувствительность хеморецепторной системы головастика *Rana temporaria* к аминокислотам // Журн. эвол. биохим. и физиол. 1983. Т. 19, № 1. С. 99–101.
- Киселева Е. И. Химическое взаимодействие головастика серой жабы (*Bufo bufo* L.) с головастиками других видов бесхвостых амфибий, обитающих в тех же водоемах // Журн. общей биол. 1993. Т. 54. № 3. С. 311–316.
- Коган А. Б., Семенов А. П. О наследственном закреплении условных рефлексов у низших позвоночных // Природа. 1955. № 9. С. 110–111.
- Корытин С. А., Азбукина М. Д. Сезонные изменения остроты обоняния у животных и влияние на нее тренировки обонятельного анализатора // Химическая коммуникация животных. М.: Наука. 1986. С. 287–294.
- Кружалов Н. Б. 1990. Реакции привлечения и избегания на аминокислоты у обыкновенного карася *Carassius carassius* // Вопр. ихтиол. Т. 30. № 1. С. 169–172.
- Кузнецов В. Б. Химическое чувство дельфинов // Химическая коммуникация животных. М.: Наука. 1986. С. 294–302.
- Ладыгина-Котс Н. Н. Отчет о деятельности зоопсихологической лаборатории при государственном Дарвиновском музее. М.: Огиз, 1921.
- Ладыгина-Котс Н. Н. Исследование познавательных способностей шимпанзе. М.: Гиз, 1923.

- Ладыгина-Котс Н. Н. О познавательных способностях шимпанзе // Брэм А. Человекообразные обезьяны. М.-Л.: Земля и фабрика, 1924.
- Ладыгина-Котс Н. Н. Различение количества у шимпанзе // Психология. Тбилиси: Изд-во АН Грузинской ССР, 1945.
- Леонтьев А. Н. Эволюция психики. Избранные психологические труды. М.-Воронеж, 1999.
- Литвинова Е. М., Васильева Н. Ю. Распознавание пола и физиологического состояния самок по хемосигналам мочи у самцов джунгарского хомячка с различными аналитическими способностями // Поведение и поведенческая экология млекопитающих. Материалы научной конференции. М.: ИПЭЭ им. А. Н. Северцова РАН; Т-во научных изданий КМК, 2005. С. 188–191.
- Мазохин-Поршняков Г. А. Обучаемость насекомых и их способность к обобщению зрительных стимулов // Энтотомол. обозр. 1968. Т. 47. № 2. С. 362–379.
- Мазохин-Поршняков Г. А. Обобщение зрительных стимулов как пример решения пчелами отвлеченных задач // Зоол. журн. 1969. Т. 48. С. 1125–1136.
- Мазохин-Поршняков Г. А. Зрительная ориентация и навигация насекомых // Пространственная ориентация животных. М. 1970. С. 24–28.
- Мазохин-Поршняков Г. А. Проблема опознавания образов и зрительное поведение насекомых // Чтения памяти Н. А. Холодковского. Л., 1974. С. 3–15.
- Малюкова И. В. Изучение сложных форм поведения в ряду позвоночных // Журн. эвол. биохим. и физиол. 1978. Т. 14. С. 151–158.
- Малюкова И. В. Эволюция сложных форм поведения у позвоночных: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Л., 1981.
- Мантейфель Ю. Б. Зрительная система и поведение бесхвостых амфибий. М.: Наука, 1977.
- Мантейфель Ю. Б., Гончарова Н. В. Дифференциальная чувствительность обонятельного восприятия L-аминокислот аланина и аргинина у болотной черепахи *Emys orbicularis* L // Сенсорные системы. 1992. Т. 6. № 4. С. 34–36.
- Мантейфель Ю. Б., Виноградова В. М., Коляденко В. Н. Определение чувствительности гуппи *Poecilia reticulata* Peters к химическим раздражителям // Вопр. ихтиол. 1987. Т. 27. № 2. С. 320–328.
- Мантейфель Ю. Б., Виноградова В. М., Хорошилова Е. В. Различие бинарных смесей запаховых стимулов и простых одорантов карповыми рыбами. Исследование методом условного кардиального рефлекса // Сенсорные системы. 1995. Т. 9. № 2–3. С. 26–34.
- Марусов Е. А. Реакция молоди лососевых рыб на некоторые натуральные химические раздражители // Вопр. ихтиол. 1975. Т. 15. С. 375–377.
- Морозов В. П., Акопцян А. И., Бурдин В. Н., Донскова А. А., Зайцева К. А., Соковых Ю. А. Аудиограмма дельфина *Tursiops truncatus* // Физиол. журн. СССР. 1971. Т. 57. № 6. С. 843–848.

- Орбели Л. А. Условные рефлексы с глаза у собаки. Диссертация. СПб., 1908.
- Павлик Л. Г. К характеристике высшей нервной деятельности овец // Физиол. журн. СССР. 1954. Т. X. № 2. III–IV.
- Павлов И. Д. Вызванная активность нейронов продолговатого мозга трески при стимуляции хеморецепторов // Сигнализация и поведение морских рыб. Л.: Наука, 1980. С. 142–152.
- Павлов Д. С., Сбикин Ю. Н. Изучение спектральной и пороговой чувствительности зрения рыб методом оптомоторной реакции // Поведение и рецепция рыб. М.: Наука. 1967. С. 74–79.
- Палатников Г. М. Физиологические характеристики обонятельной системы русского осетра (*Acipenser guldenstadti* В.): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Баку, 1983.
- Палатников Г. М. Пороги обонятельной чувствительности русского осетра к различным классам веществ // Сенсорная физиология рыб / Под ред. В. Г. Аверинцева. Апатиты: ММБИ КФ АН СССР, 1984. С. 68.
- Пигарев И. Н., Зенкин Г. М. Детекторы темного пятна в сетчатке лягушки и их роль в организации пищевого поведения // ЖВНД. 1970. Т. 20. № 1. С. 170–175.
- Попов А. В. Акустическое поведение и слух насекомых. Л., 1985а.
- Попов А. В. Слух и акустическая коммуникация у насекомых. Л., 1985б.
- Праздников Н. В. Исследование инвариантности опознания зрительных изображений у рыб и обезьян // Механизмы кодирования зрительной информации. Проблемы физиологической оптики. 1966. Т. 13. С. 96–116.
- Праздников Н. В. Исследование инвариантности опознания зрительных изображений у собак // Механизмы опознания зрительных образов. Проблемы физиологической оптики. 1967а Т. 14. С. 112–117.
- Праздников Н. В. Особенности различения рыбами зрительных изображений // Поведение и рецепция рыб. М.: Наука, 1967б. С. 79–86.
- Протасов В. Р. Зрение и ближняя ориентация рыб. М.: Наука, 1968.
- Протасов В. Р. Поведение рыб. М. 1978.
- Протасов В. Р., Романенко Е. В. Звуки некоторых рыб и их сигнальное значение // Зоол. журн. 1962. № 10.
- Протасов В. Р., Романенко Е. В., Подлипалин Ю. Д. О биологическом значении звуков некоторых рыб // Вопр. ихтиол. 1965. Т. 5. Вып. 3 (36). С. 532–539.
- Рогинский Г. З., Тих Н. А. Условные рефлексы на отношения у обезьян // Тез. докладов на конференции физиологов Юго-Востока РСФСР. 1950.
- Сафаров Х. М. Образование условных рефлексов на геометрические фигуры у рептилий // Изв. АН Тадж. ССР. Отд. биол. наук. 1974. № 4. С. 58–64.
- Сафаров Х. М. Выяснение значения переднего мозга на образование условных рефлексов у степных черепах // Изв. АН Тадж. ССР. Отд. биол. наук. № 1. С. 102–105.

- Селиванова Л. А., Скотникова И. Г.* Исследование различительной хемочувствительности рыб // Психол. журн. 2007. Т. 28. № 2. С. 95–105.
- Серавин Л. Н.* Физиологические градиенты инфузории *Spirostomum ambiguum* // Цитология. 1962. Т. 4. С. 545–554.
- Серавин Л. Н., Орловская Э. Э., Карпенко А. А.* Роль механо- и хеморецепции в выборе пищи хищными инфузориями // Движение и поведение одноклеточных животных. Л.: Наука, 1978. С. 88–100.
- Сергеев Б. Ф.* Особенности хранения памятью следов отдельных признаков сложного зрительного раздражителя // Гагр. беседы. 1972. Т. 6. С. 137–146.
- Сергеева Л. И.* Чувствительность и дифференциальные пороги хеморецепторов костистых рыб к дистиллерной жидкости и хлоридам // Изв. ГОСНИОРХ'а. 1975. Т. 93. С. 139–142.
- Сергиенко Е. А.* Когнитивное развитие // Психология XXI века / Под ред. В. Н. Дружинина. М., 2003. С. 526–569.
- Сидоренко Е. И.* Методы математической обработки в психологии. СПб.: Речь, 2001.
- Сифарт Р. М., Чини Д. Л.* Разум и мышление у обезьян // В мире науки. 1993. № 2–3. С. 68–75.
- Сихарулидзе Н. И.* О функциях мозжечка и переднего мозга в поведении черепах // ДАН СССР. 1972. Т. 205. С. 1258.
- Солуха Б. В.* Методы измерения чувствительности, ориентированных перемещений и специализированных актов рыб в полях химических раздражителей // Хемочувствительность и гемокоммуникация рыб / Под ред. Д. С. Павлова. М.: Наука, 1989. С. 5–97.
- Солуха Б. В., Мантейфель Ю. Б., Павлов Д. С., Виноградова В. М., Гроня Л. И., Селиванова Л. А., Суханова М. Э.* Хемосенсорная чувствительность и поведение рыб // Проблемы химической коммуникации животных. М.: Наука, 1991. С. 301–307.
- Уголев А. М., Кассиль В. Г.* Пищевое поведение и регуляция гомеостаза // Сложные формы поведения. М.-Л., 1965. С. 41–57.
- Францевич Л. И.* Зрительный анализ пространства у насекомых. Киев: Наукова думка. 1980.
- Фролов Ю. П.* Высшая нервная деятельность (поведение) животных. М.: Учпедгиз, 1953.
- Фролов Ю. П.* Условные двигательные рефлексы у пресноводных рыб: Доклад на 50-й петрогр. физиолог. беседе. Июнь 1923 г.
- Хильченко А. Е.* Образование условных реакций на относительные признаки у собак // Исследование высшей нервной деятельности в естественном эксперименте. Киев: Госмедиздат УССР, 1950а. С. 177–213.
- Хильченко А. Е.* Образование реакций на относительные признаки у низших обезьян (отношение величин) // Исследование высшей нервной

деятельности в естественном эксперименте. Киев: Госмедиздат УССР. 1950б. С. 274–295.

- Хорошилова Е. В., Мантейфель Ю. Б. 1998. Избегание и различение аминокислот золотым карасем *Carassius carassius* после однократного предъявления вместе с феромоном тревоги // Вопр. ихтиол. Т. 38. № 1. С. 137–145.
- Циппель Г.-П., Фидлер В., Хагер Д., Кюхлен-Теес Ж., Маер К., фон Рековски К., Шуман Р., Тидеман В., Войгт Р., Вахтер Т. Ответы митральных клеток обонятельных луковиц золотой рыбки при воздействии на обонятельный эпителий различными химическими, механическими и тепловыми стимулами // Биофизика. 1995. Т. 40. № 1. С. 163–184.
- Червова Л. С., Лапшин Д. Н. Электрофизиологические пороги кожных хеморецепторов пресноводных рыб. Международная науч. конф. «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах», Москва, 27–29 мая 2002. С. 190.
- Черниговский В. Н. Значение интероцептивной сигнализации в пищевом поведении животных. М.-Л.: 1962. Изд-во АН СССР.
- Шувалов В. Ф., Попов А. В. Механизм опознавания самками сверчков рода *Gryllus* призывных звуковых сигналов самцов своего вида // Сравнительная нейрофизиология и нейрохимия. Л.: Наука, 1976. С. 37–43.
- Шувалов В. Ф., Попов А. В. Зависимость спектральной избирательности фонотаксиса сверчков (*Gryllus bimaculatus* De Geer) от условий предъявления стимулов // ДАН СССР. 1979. Т. 246. С. 247–249.
- Якименко О. О. О константности узнавания формы при различении преобразованных зрительных раздражителей у рыб (*Cyprinus carpio*) // ЖВНД. 1975. Т. 25. № 4. С. 876–878.
- Ache B. W. & Derby Ch. D. Functional organization of olfaction in crustaceans // TINS. 1985. V. 8. № 8. P. 356–360.
- Barnett C. The role of urine in parent-offspring communication in a cichlid fish // Z. Tierpsychol. 1981. V. 55. № 2. P. 171–182.
- Barnett C. The chemosensory responses of young cichlid fish to parents and predators // Anim. Behav. 1982. V. 30. № 1. P. 35–42.
- Belvedere P., Colombo L., Giacoma C., Malacarne G. & Andreoletti G. E. Comparative ethological and biochemical aspects of courtship pheromones in European newts // Monit. Zool. Ital. 1988. V. 22. № 4. P. 397–403.
- Berkey C. & Atema J. Individual recognition and memory in *Homarus americanus* male-female interactions // Biol. Bull. 1999. V. 197. № 2. P. 253–254.
- Berti R. Chemical stimulation and locomotory orientation in two african hypogeous cyprinids // Boll. Zool. 1983. V. 50. № 1–2. P. 35.
- Bjerselius R., Olsen K. H. & Zheng W. Behavioural and endocrinological responses of mature male goldfish to the sex pheromone 17 α , 20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one in the water // J. Exp. Biol. 1995. V. 198. № 3. P. 747–754.

- Boudreau J. C. Electrical activity in the olfactory tract of the catfish // *Jap. J. Physiol.* 1962. V. 12. N°3. P. 272–278.
- Bull H. O. Studies on conditioned responses in fishes. Part I, II // *J. Marine Biol. Assoc. U. K.* 1928, 1930. V. 15. N°2. P. 485–533. V. 16. P. 615–637.
- Bull H. O. An evaluation of our knowledge of fish behavior in relation to hydrography // *Rapp. Reunions Cons. Permanent Intern. Explor. Mer.* 1952. V. 131. N°7. P. 8–23.
- Caprio J. Olfaction and taste in channel catfish: An electrophysiological study of the responses to amino acids and derivatives // *J. Comp. Physiol. A.* 1978. V. 123. N°4. P. 357–371.
- Caprio J., Brand J. G., Teeter J. H., Valentincic T., Kalinoski D. L., Kohbara J., Kumazawa T. & Wegert S. The taste system of channel catfish: from biophysics to behavior // *TINS.* 1993. V. 16. N°5. P. 192–197.
- Courtenay S. C., Quinn T. P., Dupuis H. M. C., Groot C. & Larkin P. A. Discrimination of family-specific odours by juvenile coho salmon: roles of learning and odour concentration // *J. Fish Biol.* 2001. V. 58. N°1. P. 107–125.
- Crapon de Caprona M. D. The influence of early experience on preferences for optical and chemical cues produced by both sexes in the cichlid fish *Haplochromis burtoni* (*Astatotilapia burtoni*, Greenwood 1979) // *Z. Tierpsychol.* 1982. V. 58. N°4. P. 329–361.
- Daniel P. C. & Derby Ch. D. Mixture suppression in behavior: the antennular flick response in the spiny lobster towards binary odorant mixtures // *Physiol. Behav.* 1991. V. 49. P. 591–601.
- De Fraipont M. La detection chimique chez *Astyanax mexicanus* (Teleostei, Characidae) (forme cavernicole) en fonction de la densite des groupes // *Ann. Soc. Roy. Zool. Belg.* 1987. V. 117. N°1. P. 63–76.
- De Fraipont M. & Thines G. Responses of the cavefish *Astyanax mexicanus* (*Anoptichthys antrobius*) to the odor of known or unknown conspecifics // *Experientia.* 1986. V. 42. N°9. P. 1053–1054.
- Derby Ch. D. & Atema J. 1982. Chemosensitivity of walking legs of the lobster *Homarus americanus*: neurophysiological response spectrum and thresholds // *J. Exp. Biol.* 1982. V. 98. P. 303–315.
- Derby Ch. D., Girardot M-N. & Daniel P. C. Responses of olfactory receptor cells of spiny lobsters to binary mixtures. I. Intensity mixture interactions // *J. Neurophysiol.* 1991. V. 66. N°1. P. 112–130.
- Dodson J. J. & Bitterman M. E. Compound uniqueness and the interactive role of morpholine in fish chemoreception // *Biol. Behav.* 1989. V. 14. N°1. P. 13–27.
- Doving K. B. The influence of olfactory stimuli upon the activity of secondary neurones in the burbot (*Lota lota* L.) // *Acta Physiol. Scand.* 1966. V. 66. N°3. P. 290–299.
- Doving K. B., Nordeng H. & Oakley B. Single unit discrimination of fish odours related by char (*Salmo alpinus*) populations // *Comp. Biochem. Physiol.* 1974. V. 47A. P. 1051–1063.

- Doving K. B., Sæset R. & Thommesen G. Olfactory sensitivity to bile acids in salmonid fishes // *Acta Physiol. Scand.* 1980. V. 108. №2. P. 123–131.
- Doving K. B., Westerberg H. & Johnsen P. B. Role of olfaction in the behavioral and neuronal responses of Atlantic salmon, *Salmo salar*, to hydrographic stratification // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1985. V. 42. №10. P. 1658–1667.
- Doving K. B., Marstøl M., Andersen J. R. & Knutsen J. A. Experimental evidence of chemocinesis in newly hatched cod larvae (*Gadus morhua* L.) // *Mar. Biol.* 1994. V. 120. P. 351–358.
- Fine-Levy J. B., Girardot M.-N., Derby Ch. D & Daniel P. C. Differential associative conditioning and olfactory discrimination in the spiny lobster *Panulirus argus* // *Behav. Neural Biol.* 1988. V. 49. №3. P. 315–331.
- Fuzessery Z. M., Carr W. E. S. & Ache B. W. Antennular chemosensitivity in the spiny lobster, *Panulirus argus*: Studies of taurine sensitive receptors // *Biol. Bull.* 1978. V. 154. №2. P. 226–240.
- Groot C., Quinn T. P. & Hara T. J. Responses of migrating adult sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) population-specific odors // *Can. J. Zool.* 1986. V. 64. №4. P. 926–932.
- Halpin Z. T. Individual differences in the biological odors of the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) // *Behav. Biol.* 1974. V. 11. P. 253–259.
- Halpin Z. T. Individual odor among mammals: origins and functions // *Advances in the study of behavior.* 1986. V. 16. P. 40–70.
- Hara T. J. & Brown S. B. Olfactory bulbar electrical responses of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) exposed to morpholine during smoltification // *J. Fish. Res. Board Can.* 1979. V. 36. №10. P. 1186–1190.
- Harumi S. & Kiyonori Y. A possibility of species discrimination by olfaction in the ciprinid fish genus *Tribolodon* // *Jap. J. Ichthyol.* 1990. V. 37. №2. P. 191–197.
- Hasler A. D. Odor perception and orientation in fishes // *J. Fish. Res. Bd. Can.* 1954. V. 11. №2. P. 107–129.
- Hasler A. D. & Wisby W. J. Discrimination of stream odors by fishes and its relation to parent stream behaviour // *Am. Naturalist.* 1951. V. 85. №823. P. 223–238.
- Hert E. Individual recognition of helpers by the breeders in the cichlid fish *Lamprologus brichardi* (Poll, 1974) // *Z. Tierpsychol.* 1985. V. 68. №4. P. 313–325.
- Hubbard P. C., Ingleton P. M., Bendell L. A., Barata E. N. & Canario A. V. M. Olfactory sensitivity to changes in environmental $[Ca^{2+}]$ in the freshwater teleost *Carassius auratus*: an olfactory role for the Ca^{2+} -sensing receptor? // *J. Exp. Biol.* 2002. V. 205. №18. P. 2755–2764.
- Jennings J. H. *Behavior of the Lower Organisms.* New York: Columbia University Press, 1923.
- Johnsen P. B. & Adams M. A. Chemical feeding stimulants for the herbivorous fish *Tilapia zillii* // *Comp. Biochem. Physiol.* 1986. V. 83A. №1. P. 109–112.
- Johnsen P. B., Zhou H. & Adams M. A. Olfactory sensitivity of the herbivorous grass carp, *Ctenopharyngodon idella*, to amino acids // *J. Fish Biol.* 1988. V. 33. №1. P. 127–134.

- Johnsen P. B., Zhou H. & Adams M. A. Gustatory sensitivity of the herbivore *Tilapia zillii* to amino acids // *J. Fish. Biol.* 1990. V. 36. № 4. P. 587–593.
- Johnson B. C., Voigt R., Borroni P. F. & Atema J. Response properties of lobster chemoreceptors: tuning of primary taste neurons in walking legs // *J. Comp. Physiol. A.* 1984. V. 155. № 5. P. 593–604.
- Johnstone A. D. F. The detection of dissolved amino acids by the Atlantic cod, *Gadus morhua* L. // *J. Fish Biol.* 1980. V. 17. P. 219–230.
- Joly P. & Miaud C. How does a newt find its pond? The role of chemical cues in migrating newts (*Triturus alpestris*) // *Ethol. Ecol. and Evol.* 1993. V. 5. № 4. P. 447–455.
- Jones K. A. The palatability of amino acids and related compounds to rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson // *J. Fish. Biol.* 1989. V. 34. № 1. P. 149–160.
- Kawamura T. & Yamashita S. Chemical sensitivity of lateral line organs in the goby, *Gobius giurinus* // *Comp. Biochem. Physiol.* 1983. V. 74A. № 2. P. 253–257.
- Keefe M. L. & Winn H. E. Chemosensory attraction to home stream water and conspecifics by native brook trout *Salvelinus fontinalis* from two southern New England streams // *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 1991. V. 48. № 5. P. 938–934.
- Keefe M., Whitesel T. O. & Winn H. E. Chemical recognition on two levels in juvenile brook trout // *Chem. Signals Vertebr. VI: Symp., Philadelphia, Pa, June 16–22, 1991: Program and Abstr. Hanover (N. H.)* 1991. P. 32.
- Kleerekoper H. Olfaction in fishes / Bloomington, London: Indiana University Press. 1969.
- Kleerekoper H. The role of olfactory in the orientation of fishes // *Chemoreception in fishes* / Ed. Hara T. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. Co. 1982. P. 201–225.
- Kohbara J., Michel W. & Caprio J. Responses of single facial taste fibers in the channel catfish, *Ictalurus punctatus*, to amino acids // *J. Neurophysiol.* 1992. V. 68. № 4. P. 1012–1026.
- Kohbara J., Hidaka I., Morishita T. & Miyajima T. Gustatory and olfactory sensitivity to extracts of jack mackerel muscle in young yellowtail *Seriola quinqueradiata* // *Aquaculture*. 2000. V. 181. № 1–2. P. 127–140.
- Lindsay S. M. & Vogt R. G. Behavioral responses of newly hatched zebrafish (*Danio rerio*) to amino acid chemostimulants // *Chem. Senses*. 2004. V. 29. № 2. P. 93–100.
- Lipschitz D. L. & Michel W. C. Physiological evidence for the discrimination of L-arginine from structural analogues by the zebrafish olfactory system // *J. Neurophysiol.* 1999. V. 82. P. 3160–3167.
- Little E. E. Behavioral function of olfaction and taste in fish // *Fish Neurobiology*. V. 1. Brain stem and sense organs / Eds. Northcutt R. G. & Davis R. E. University of Michigan Press. 1983. P. 351–376.
- Loeb J. *Forced Movements, Tropisms, and Animal Conduct*. Philadelphia: J. B. Lippincott Co., 1918.

- Lynn W. H., Meyer E. A., Peppiatt C. & Derby Ch. D. Perception of odor mixtures by the spiny lobster *Panulirus argus* // Chem. Sens. 1994. V. 19. № 4. P. 331–347.
- MacLeod N. K. Spontaneous activity of single neurons in the olfactory bulb of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and its modulation by olfactory stimulation with amino acids // Exp. Brain Res. 1976. V. 25. № 3. P. 267–278.
- Magurran A. E. Acquired recognition of predator odour in the European minnow (*Phoxinus phoxinus*) // Ethology. 1989. V. 82. № 3. P. 216–223.
- Marcstrom A. Reaction thresholds of roaches (*Leuciscus rutilus* L.) to some aromatic substances // Arkiv for zoologi. 1959. Bd. 12. Ht. 4. P. 335–338.
- Marcstrom A. & Steinholtz G. A new method for measuring the ability of fish to orient in chemical gradients // Physiol. Behav. 1982. V. 29. № 6. P. 1183–1184.
- McClintock J. B., Klinger T. S. & Lawrence J. M. Chemoreception in *Luidia clathrata* (Echinodermata: Asteroidea): qualitative and quantitative aspects of chemotactic responses to low molecular weight compounds // Mar. Biol. 1984. V. 84. № 1. P. 47–52.
- Mearns K. J. Behavioral responses of salmonid fry to low amino acids concentrations // J. Fish Biol. 1989. V. 34. № 2. P. 223–232.
- Michel W. C. & Lubomudrov L. M. Specificity and sensitivity of the olfactory organ of the zebrafish, *Danio rerio* // J. Comp. Physiol. A. 1995. V. 177. № 2. P. 191–199.
- Neuhaus von W. & Appelbaum S. Quantitative Bestimmung der Geruchsadaptation bei *Phoxinus laevis* L. und die Bedeutung der Adaptation bei der Geruchsorientierung der Wanderfische // Zool. Jahrb. Physiol. 1980. V. 84. № 4. P. 458–471.
- Neurath H. Über die Leistung des Geruchssinnes bei Elritzen // Z. Vergl. Physiol. 1949. V. 31. P. 609–626.
- Oh J. W. & Dunham D. W. Chemical detection of conspecifics in the crayfish *Procambarus clarkii*: role of antennules // J. Chem. Ecol. 1991. V. 17. № 1. P. 161–166.
- Olsen K. H. Chemoattraction between fry of arctic char [*Salvelinus alpinus* (L.)] studied in a Y-maze fluvium // J. Chem. Ecol. 1985. V. 11. № 8. P. 1009–1017.
- Pearson W. H. & Miller S. E. Chemoreception in the food-searching and feeding behavior of the red hake, *Urophycis chuss* (Walbaum) // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1980. V. 48. № 2. P. 139–150.
- Pesaro M., Balsamo M., Gandolfi G. & Tongiorgi P. Discrimination among different kinds of water in juvenile eels, *Anguilla anguilla* (L.) // Monit. Zool. Ital. 1981. V. 15. № 3. P. 183–191.
- Petranka J. W. Response of toad tadpoles to conflicting chemical stimuli: Predator avoidance versus «optimal» foraging // Herpetologica. 1989. V. 45. № 3. P. 283–292.
- Quinn Th. P. & Hara T. J. Sibling recognition and olfactory sensitivity in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) // Can. J. Zool. 1986. V. 64. № 4. P. 921–925.

- Quinn Th. P. & Tolson G. M. Evidence of chemically mediated population recognition in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) // *Can. J. Zool.* 1986. V. 64. № 1. P. 84–87.
- Quinn Th. P., Brannon E. L. & Whitman R. P. Pheromones and the water source preferences of adult coho salmon *Oncorhynchus kisutch* Walbaum // *J. Fish. Biol.* 1983. V. 22. № 6. P. 677–684.
- Rose R. D. Chemical detection of «self» and conspecifics by crayfish // *J. Chem. Ecol.* 1986. V. 12. № 1. P. 271–276.
- Saglio Ph. & Blanc J.-M. Etude en olfactometre de la reponse comportementale aux L-acides amines chez le juvenile de carpe, *Cyprinus carpio* L. // *Biol. Behav.* 1983. V. 8. № 4. P. 359–370.
- Sato K., Shoji T. & Ueda H. Olfactory discriminating ability of lacustrine sockeye and masu salmon in various freshwaters // *Zool. Sci.* 2000. V. 17. P. 313–317.
- Satou M. & Ueda K. Spectral analysis of olfactory responses to amino acids in rainbow trout, *Salmo gairdneri* // *Comp. Biochem. Physiol.* 1975. V. 52A. P. 359–365.
- Scarfe A. D., Steele C. W. & Rieke G. K. Quantitative chemobehavior of fish: an improved methodology // *Environ. Biol. Fish.* 1985. V. 13. № 3. P. 183–194.
- Schultze-Westrum T. G. Social communication by chemical signals in flying phalangers *Petaurus breviceps papuanus* // *Olfaction and Taste III* / ed. C. Pfaffman. New York: Rockefeller Univ. Press. 1969. P. 268–277.
- Smith G. L. Statistical analysis of sensory data // *Sensory Analysis of Food* / Ed. Piggott J. R. London–New York: Elsevier. 1984. P. 305–350.
- Sorensen P. W. Investigations into the origin (s) of the freshwater attractants of the American eel // *Chem. Signals Vertebr.* V. 3. Proc. 3rd Int. Symp., Sarasota, Fla., Apr., 11–13, 1982. New York, London. 1983. P. 313–316.
- Stabell O. B. Intraspecific pheromone discrimination and substrate marking by Atlantic salmon pair // *J. Chem. Ecol.* 1987. V. 13. № 7. P. 1625–1643.
- Stebbins W. S. Principles of animal psychophysics // *Animal Psychophysics: the design and conduct of sensory experiments.* New York: Appleton-Century-Crafts, 1970, pp. 1–20.
- Sutterlin A. M. & Sutterlin N. Taste responses in atlantic salmon (*Salmo salar*) parr // *J. Fish. Res. Board Can.* 1970. V. 27. № 11. P. 1927–1942.
- Suzuki N. Olfactory conditioning of fish by amino acids // *Zool. Mag.* 1973. V. 82. P. 285–290.
- Teichmann H. Uber die Leistung des Geruchssinnes beim Aal (*Anguilla anguilla* L.) // *Z. Vergl. Physiol.* 1959. V. 42. P. 206–254.
- Thompson H. & Ache B. W. Threshold determination for olfactory receptors of the spiny lobster // *Mar. Behav. Physiol.* 1980. V. 7. № 3. P. 249–260.
- Thunberg B. E. Olfaction in parent stream selection by the alewife (*Alosa pseudoharengus*) // *Anim. Behav.* 1971. V. 19. № 2. P. 217–225.

- Timms A. M. & Kleerekoper H. The locomotor responses of male *Ictalurus punctatus*, the channel catfish, to a pheromone released by the ripe female of the species // Trans. Amer. Fish. Soc. 1972. V. 101. № 2. P. 302–310.
- Tosi L., Spampanato A., Sola C. & Tongiorgi P. Reaction of water odour, salinity and temperature to ascent of glass-eels, *Anguilla anguilla* (L.): a laboratory study // J. Fish Biol. 1990. V. 36. № 3. P. 327–340.
- Trott T. J. & Robertson J. R. Chemical stimulants of cheliped flexion behavior by the western atlantic ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius) // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1984. V. 78. № 3. P. 237–252.
- Trudel P. J. Untersuchungen über Geschmackreaktionen der Fische auf süsse Stoffe // Z. Vergl. Physiol. 1929. V. 10. P. 367–409.
- Ueda K. An electrophysiological approach to the olfactory recognition of home-stream waters in chum salmon // NOAA Techn. Rept. NMFS. 1985. № 27. P. 97–102.
- Ueda K., Hara T. J. & Gorbman A. Electroencephalographic studies on olfactory discrimination in adult spawning salmon // Comp. Biochem. Physiol. 1967. V. 21. P. 133–143.
- Utne A. Ch. W. & Bacchi B. The influence of visual and chemical stimuli from cod *Gadus morhua* on the distribution of two-spotted goby *Gobiusculus flavescens* (Fabricius) // Sarsia. 1997. V. 82. № 2. P. 129–135.
- Valenticinc T. & Koce A. Coding principles in fish olfaction as revealed by single unit, EOG and behavioral studies // Pflugers Arch. Eur. J. Physiol. 2000. V. 439, suppl. P. R193-R195.
- Valenticinc T., Kralj J., Stenovec M., Roce A. & Caprio J. The behavioral detection of binary mixtures of amino acids and their individual components by catfish // J. Exp. Biol. 2000a. V. 203. № 21. P. 3307–3317.
- Valenticinc T., Metelko J., Ota D., Pirc V. & Blejec A. Olfactory discrimination of amino acids in brown bullhead catfish // Chem. Senses 2000b. V. 25. № 1. P. 21–29.
- Waldman B. Olfactory basis of kin recognition in toad tadpoles // J. Comp. Physiol. 1985. V. 156. P. 565–577.
- Walker T. J. & Hasler A. D. Detection and discrimination of odour of aquatic plants by the blunt nose minnow (*Hyborhynchus notatus*) // Physiol. Zool. 1949. V. 22. № 1. P. 45–63.
- Watson J. The place of conditioned reflex in psychology // Psychol. Rev. 1916. V. 13. P. 201–204.
- Woodworth R., Schlosberg H. Experimental psychology. N. Y.: Holt, 1963
- Wells M. J. Taste by touch: some experiments with Octopus // J. Exp. Biol. 1963. V. 40. № 1. P. 187–193.
- Yerkes R. M., Watson J. B. Methods of studying vision in animals // Behav. Monogr. 1911. Vol. 1. № 2.

- Yoshii K., Yoshii C., Kobatake Y. & Kurihara K. High sensitivity of *Xenopus* gustatory receptors to amino acids and bitter substances // Amer. J. Physiol. 1982. V. 243. № 1. P. R42-R48.
- Zeiske E., Caprio J. & Gruber S. H. Morphological and electrophysiological studies on the olfactory organ of the lemon shark, *Negaprion brevirostris* (Poeg) // Indo-Pacific Fish Biology. Proc. Second Int. Conf. Indo-Pacific Fishes / Eds. T. Uyeno, R. Arai, T. Taniuchi & K. Matsuura. Tokyo, 1986. P. 381-391.
- Zimmer-Faust R. K. Crustacean chemical perception: towards a theory on optimal chemoreception // Biol. Bull. 1987. V. 172, № 1. P. 10-29.
- Zimmer-Faust R. K. Chemical signal-to-noise detection by spiny lobsters // Biol. Bull. 1991. V. 181. № 3. P. 419-426.
- Zippel H. P. & Breipole W. Functions of the olfactory system in the goldfish (*Carassius auratus*) // Olfaction and Taste V / Eds. Denton D. A. & Coghlan J. P. N.-Y. 1975. P. 163-167.
- Zippel H. P., Voigt R., Knaust M. & Luan Y. Spontaneous behavior, training and discrimination training in goldfish using chemosensory stimuli // J. Comp. Physiol. A. 1993. V. 172. P. 81-90.

ГЛАВА 20
ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭСТЕТИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА

Психофизика со времен С. С. Стивенса значительно эволюционировала в область изучения объективных основ субъективной оценки значительно более сложных стимулов, в частности – восприятия звуков речи. Практически неисследованными остаются психофизические основы эстетических свойств вокальной речи (пения). Статья посвящена разработанным автором психофизическим подходам и методам оценки полётности и помехоустойчивости певческого голоса. В частности, показано, что такие важнейшие эстетические и вокально-технические свойства как приятная на звук звонкость, «серебристость» тембра, а также полётность звука определяются степенью выраженности в спектре голоса группы усиленных обертонов около 2400–3200 Гц, что именуется термином «высокая певческая форманта».

Певческий голос по сравнению с обычным речевым голосом характеризуется целым рядом отличительных свойств: большой силой звука до 115–120 дБ (в обычной речи – 70–90 дБ), увеличенным звуковысотным диапазоном – не менее 2 октав (в речи 0,5–1,5 октавы), наличием вибрато, т. е. приятной на слух амплитудно-частотной модуляцией звука с частотой 6–9 кол/сек и др.

Важнейшим свойством певческого голоса является особый тембр, характеризующийся звонкостью, яркостью, «серебристостью» звука и в то же время его «мягкостью» и «бархатистостью».

Наконец, в практике вокального искусства издавна высоко ценится свойство голоса певца преодолевать значительные расстояния, заполнять концертные залы большого объема, а главное – противостоять маскирующему воздействию окружающих звуков (оркестр, хор, музыкальное сопровождение). Старые итальянские вокальные педагоги называли это свойство термином *portata de la voce*, что озна-

чает *способность голоса нестись*. В отечественной литературе нередко употребляется термин *носкость голоса* (Аспелунд, 1952), что, очевидно, связано с буквальным переводом итальянского слова *portare* (*нести*). Мы считаем, что для обозначения указанного свойства голоса более удачным русским термином является *полетность голоса* (Морозов, Барсов, 1965; Морозов, 2002).

Весьма любопытно, что по наблюдениям практиков вокального искусства полетность не является обязательной принадлежностью больших голосов. Нередко оказывается, что голос певца, производящий впечатление мощного звучания в небольшом помещении (например, в классе), «не звучит» на сцене, в большом концертном зале, маскируется звуками музыкального сопровождения («не режет оркестр», по выражению дирижеров), воспринимается на слух глухо и завуалированно. С другой стороны, встречаются весьма «скромные» голоса, казалось бы, совершенно неспособные озвучить большие объемы помещений, но прекрасно звучащие на большой сцене, хорошо слышные во всех точках театрального зала, четко выделяющиеся среди звуков музыкального сопровождения и других голосов, т. е. *полетные голоса*.

Выдающиеся мастера вокального искусства и опытные педагоги всегда придавали исключительно большое значение развитию хорошей полетности голоса. Профессор вокальной кафедры Ленинградской консерватории Е. Г. Ольховский писал: «Полетность (по современной терминологии) голоса Баттистини была исключительной. Он обладал редкой способностью *преодолевать значительные расстояния, плохие акустические условия зрительного зала, преувеличенное звучание оркестра*» (Ольховский 1966, с. 9; курсив мой. – В. М.). Таким же свойством прекрасной полетности обладал голос величайшего из отечественных певцов – Ф. И. Шаляпина (Морозов, 2002).

Несмотря на важность исследуемой проблемы, практика вокального искусства не выработала количественных критериев для оценки полетности голоса. Полетность обычно оценивается на слух и характеризуется лишь в приблизительных, качественных терминах (*хорошая* или *плохая*). С этой целью жюри обычно располагается подальше от сцены в глубине зала. При этом самым существенным критерием определения полетности признается свойство голоса певца *противостоять маскирующему воздействию звуков оркестра*^{*}.

* Известно, что на последних турах всех конкурсов вокалистов певцы поют в сопровождении оркестра. Одной из важных целей оркестрового сопровождения, по мнению специалистов, является выявление степени полетности голоса.

Последний критерий весьма существен, так как позволяет предполагать, что полетность определенным образом связана с *помехоустойчивостью* звука певческого голоса. Предположение это, однако, экспериментально не обосновано, что и побудило нас предпринять экспериментальные исследования.

Метод измерения помехоустойчивости вокальных гласных

При разработке метода измерения помехоустойчивости вокальной речи возникла необходимость в первую очередь решить два вопроса: 1) о выборе помехи, 2) о критериях помехоустойчивости. Что касается первого вопроса, то, несмотря на то, что в теории и практике музыкального искусства голос певца и музыкальное сопровождение представляют собой два гармонических компонента единого целого (т. е. ансамбля), с интересующих нас позиций (и понятия помехоустойчивости) звуки вокальной речи целесообразно рассматривать как *полезный сигнал*, а музыкальное сопровождение – как *шум* или *помеху*. Вместе с тем вполне естественно, что избрать в качестве «помехи» звуки музыкального сопровождения (например, оркестр) не представляется целесообразным ввиду чрезвычайной нестационарности и вариабельности акустических параметров этой «естественной помехи» (флюктуаций в широких пределах, уровня интенсивности, спектрального состава, частотно-временных характеристик и пр.). Ввиду этого в качестве стандартной помехи мы избрали широкополосный шум, приближающийся по своему спектральному составу к наиболее типичным акустическим помехам, нередко употребляемым инженерами связи для исследования помехоустойчивости трактов электрорадиосвязи (Покровский, 1962). Типичные шумовые помехи подобного рода известны под термином *шум речевого спектра, комнатный шум, шум Хота* и т. п. Избранный нами шум имеющий максимум спектральной энергии в полосе 160–700 Гц и постепенное спадание к высоким частотам (≈ 9 дБ на октаву), аналогичен подобного рода шумам, а кроме того, близок к усредненному спектру оркестра, т. е. к *естественной помехе* вокальной речи. Эти соображения и позволили нам применить указанный шум в качестве стандартной помехи при наших исследованиях.

В качестве критерия помехоустойчивости вокальных гласных мы избрали критерий пороговой маскировки сигнала шумом. Исследуемый сигнал (той или иной гласный), воспроизводимый с магнитофона (*МЭЗ*), микшировался с шумовой помехой, подаваемой на микшер с генератора шума (*ГШ*). С выхода микшера «смесь» сигнала с шумом подавалась на головные телефоны оператора. Интенсивность данного шума, подаваемого на микшер, была постоян-

ной ($U_{ш}=500$ мВ), интенсивность сигнала (U_c) можно было изменять плавным регулятором на выходе магнитофона.

Задача оператора, выслушивающего через телефоны «смесь» сигнала с шумом, состояла в изменении уровня сигнала до установления его пороговой величины в шуме. После нахождения оператором пороговой величины сигнала шум отключался и установленная им интенсивность сигнала измерялась при помощи лампового вольтметра.

Критерием помехоустойчивости было взято отношение шум/сигнал, которое выражалось по формуле:

$$\beta = 20 \lg U_{ш}/U_c \text{ дБ},$$

где β – коэффициент помехоустойчивости сигнала (в дБ); $U_{ш}$ – напряжение (в мВ), развиваемое сигналом шума на телефонах оператора; U_c – пороговая величина сигнала (в мВ) на телефонах оператора*. Операторами в наших опытах (по обнаружению сигнала в шуме) была группа лиц (7 человек) из числа студентов разных факультетов консерватории. Предварительно операторы проходили тренировку, с тем чтобы избежать возможности случайных ошибок. Пороги маскировки каждого сигнала в шуме оператор находил по несколько раз, пользуясь как методом увеличения уровня сигнала от нуля до пороговой величины, так и методом уменьшения его от заведомо надпороговой величины к порогу. Все показания операторов суммировались, и для каждого сигнала находилась средняя величина, характеризующая среднюю помехоустойчивость данного сигнала.

С целью обеспечения непрерывного звучания исследуемого сигнала в течение всего опыта по определению порогов, который длился не менее 7–10 мин, был применен «метод кольца». Произношение гласных разными испытуемыми записывалось на магнитофонную ленту, участки ленты с записью этих гласных вырезались и концы ленты склеивались. Образованное кольцо с записью гласного при помощи оттяжки с роликом воспроизводилось на магнитофоне, обеспечивая непрерывное звучание гласного.

Сравнительная помехоустойчивость вокальных и речевых гласных

При исследовании помехоустойчивости гласных были взяты три группы испытуемых (всего 20 человек): 1) профессиональные оперные певцы, обладающие (по мнению специалистов) отличной

* Двадцатикратный логарифм взят ввиду того, что измеряемые электрические напряжения сигнала и шума на телефонах оператора пропорциональны, как известно, не интенсивности звука ($Вт/см^2$), а звуковому давлению ($Н/м^2$).

полетностью голоса, 2) студенты консерватории с отличной и хорошей полетностью голоса (по мнению вокальных педагогов), 3) группа невокалистов (с заведомо плохой полетностью).

Особо следует оговорить, что третья группа была сформирована из лиц, не обладающих какими-либо особыми вокальными данными, эти испытуемые пением специально не занимались. В целом способ звукообразования у всех испытуемых этой группы мог быть охарактеризован как речевой способ: они просто протяжно фонировали обычные речевые гласные. Поскольку гласные эти резко отличались от вокальных (не обладали необходимым «вокальным» тембром, в них отсутствовало вибрато и т. д.), мы в дальнейшем будем называть их просто *речевыми гласными*^{*}.

Результаты исследования, приведенные в таблице 1, свидетельствуют о том, что вокальные гласные обладают большей помехоустойчивостью ($\beta=20-25$ дБ), чем речевые ($\beta=17$ дБ). Вместе с тем как среди певцов, так и среди невокалистов наблюдаются существенные индивидуальные различия по величине коэффициента помехоустойчивости. Анализ этих различий позволяет заключить, что наибольшей помехоустойчивостью обладают гласные высококвалифицированных вокалистов, звуки голоса которых отличаются большой *звонкостью, серебристостью, металлическим тембром*. А *глухие, завуалированные* звуки малоквалифицированных певцов или невокалистов имеют низкие коэффициенты помехоустойчивости.

Весьма важно, что при оценке степени полетности исследованных нами звуков на слух квалифицированными специалистами (вокальными педагогами) к числу наиболее полетных голосов были отнесены именно те, которые, по нашим измерениям, имеют наибольшие коэффициенты помехоустойчивости (Л. О-й, В. А-в, В. М-ва и др.). Это подтвердило наши ранее высказанные предположения, во-первых, о том, что полетность голоса определяется помехоустойчивостью гласных, а во-вторых, что избранный нами критерий (β) в достаточной мере точно и притом количественно отражает изучаемое свойство гласных.

* Мы отдаем себе отчет в том, что указанные гласные в известной мере отличались и от типичных речевых, хотя бы по длительности. Известно, что длительность гласных в речи составляет в среднем 150–250 мс (Бондарко, 1964; Зиндер, 1964), в то время как по нашей просьбе испытуемые специально удлинняли звучание гласных до 3–4 с. Это удлинение речевых гласных было необходимо для того, чтобы обеспечить возможность их исследования «методом кольца», т. е. стандартизировать условия исследования как вокальных, так и речевых гласных.

Таблица 1

Коэффициенты помехоустойчивости гласных профессиональных оперных певцов, студентов консерватории и невокалистов (гласный А на средних нотах диапазона голоса)

$$\left(\beta = 20 \cdot \lg \frac{U_a}{U_c} \right)$$

Профессиональные оперные певцы			Студенты консерватории			Невокалисты		
испытуемый	тип голоса	β (дБ)	испытуемый	тип голоса	β (дБ)	испытуемый	тип голоса	β (дБ)
Л. О-и	Тенор	27	В. А-в	Тенор	26	В. И-н	Мужской	17
Г. З-н	Тенор	26	В. П-й	Тенор	18	Ю. Б-а	Мужской	16
В. К-в	Тенор	22	О. С-в	Баритон	23	В. Б-в	Мужской	15
Н. К-н	Баритон	21	С. Т-в	Тенор	23	П. П-в	Мужской	19
Н. О-в	Бас	24	И. С-в	Бас	17	М. З-р	Мужской	16
И. К-я	Бас	24	И. Б-ва	М.-сопрано	22	Т. П-ва	Женский	19
В. М-ва	Сопрано	28	Н. К-ва	Тенор	21			
Среднее...		24,6	Среднее...		21,4	Среднее...		17,0

Мы обнаружили известную зависимость коэффициента помехоустойчивости от типа гласной. Наибольший β характерен для гласных И, Э, наименьший – для У. Гласные О, А занимают в этом отношении промежуточное положение. Обнаружилось также, что увеличение высоты основного тона голоса приводит к некоторому увеличению коэффициента помехоустойчивости гласных. Вследствие этого высокие женские голоса имеют несколько более высокий β , чем низкие мужские.

Роль высокой певческой форманты в обеспечении полетности и помехоустойчивости голоса певца

Анализ данных, приведенных в предыдущем разделе, наводит на мысль, что степень полетности и помехоустойчивости связана с качеством тембра голоса и, вероятнее всего, со степенью выраженности *высокой певческой форманты* (ВПФ)^{*}. Прежде всего это,

^{*} *Высокая певческая форманта* – это резонансная характеристика голосового тракта певца, обуславливающая усиление в певческом звуке

разумеется, следует из теоретических соображений, вытекающих из сопоставления спектров сигналов и помехи. Практически это подтверждается тем, что наиболее помехоустойчивыми являются звонкие, яркие голоса. Звонкость же, как нами показано (Морозов, 2002), определяется степенью выраженности высоких спектральных составляющих, в основном уровнем ВПФ.

С целью дальнейшего изучения количественной зависимости степени помехоустойчивости гласных от относительного уровня ВПФ нами были проделаны опыты по сравнительному измерению помехоустойчивости нормальных вокальных гласных и тех же гласных с полностью отфильтрованной (полосовыми фильтрами) высокой певческой формантой. Для этих опытов были использованы гласные мастеров вокального искусства, содержащие в норме около 30–35% ВПФ (Г. Зобиан, гласная А из арии Хозе, нота mi^1 , Н. Охотников, гласная У, нота do^1).

Таблица 2

Изменение порогов восприятия вокальных гласных (U_c) в шуме ($U_{ш} = 500$ мВ) и коэффициентов помехоустойчивости ($\beta = 20 \lg U_{ш}/U_c$) при подавлении в спектре гласных высокой певческой форманты

Опертор	Нормальный гласный		Гласный без ВПФ	
	U_c (мВ)	β (дБ)	U_c (мВ)	β (дБ)
М. З.	33,3	23,5	82,1	15,5
Р. А.	27,7	25,1	100,0	13,9
С. А.	19,5	28,1	81,2	15,5
Г. А.	20,7	27,6	89,2	14,9
И. Л.	21,4	27,4	63,0	17,9
Л. Д.	28,1	25,0	70,0	17,0
Среднее	25,2	25,9	81,0	15,8

Результаты этих опытов, приведенные в таблице 2, свидетельствуют о том, что при подавлении ВПФ абсолютные пороги обнаружения гласного в шуме (U_c) существенно увеличиваются, а коэффициенты помехоустойчивости (β) соответственно падают (в среднем с 25,9 до 15,8 дБ). Любопытно, что абсолютный порог обнаружения в том же шуме изолированной высокой певческой форманты (отфильтрованной из тех же гласных) оказался равным 12,5 мВ, что соответствует коэффициенту помехоустойчивости $\beta = 32$ дБ. Таким образом, важная роль высокой певческой форманты в обеспечении хорошей помехоустойчивости звука голоса не вызывает сомнений.

высоких обертонов в области ок. 2400–2700 Гц в мужских и 2800–3500 в женских голосах и придающая певческому голосу звонкость, «серебристость» тембра (Морозов, 2002 и др.).

Помехоустойчивость и полетность вокальных гласных как результат взаимодействия свойств сигнала, помехи и слуха

Известно, что маскирующее действие шума на тональный или близкий к нему узкополосный сигнал определяется в основном эффективным уровнем энергии спектральных составляющих шума, лежащих в критической полосе слуха для данного маскирующего тона (Fletcher, 1953; Скучик, 1959; Покровский, 1962; Чистович, 1964). В спектре шума, который служил в наших опытах помехой, эффективная энергия спектра в критической полосе слуха для тонов в области 2500 Гц (что соответствует области ВПФ) примерно на 16 дБ меньше, чем в области 540 Гц, т. е. в области максимума огибающей спектра шума. Это, естественно, и приводит к меньшему эффекту маскировки компонентов сигнала, лежащих в области 2500 Гц, чем в области 540 Гц. Вследствие этого вокальные гласные, в которых в узкой полосе спектра около 2500 Гц сосредоточивается до 30% всей акустической энергии, выигрывают как в громкости и звонкости, так и в помехоустойчивости по сравнению с обычными гласными, доля спектральной энергии которых в указанной высокочастотной области (2500 Гц) составляет всего лишь 5–10%. Величину этого выигрыша можно с известной точностью определить и чисто расчетным путем, применяя известные в литературе методы расчета (Цвиккер, Фельдкеллер, 1971).

Необходимо учесть также, что вершина высокой певческой форманты располагается в области максимума слуховой чувствительности (2500 Гц), что в свою очередь также вносит существенный вклад в общий эффект помехоустойчивости, равно как и дает выигрыш в громкости на 10–15 дБ (величина выигрыша в громкости была определена экспериментально, см.: Морозов, 2002, с. 139–140).

Заключение

Таким образом, важнейшим психофизическим коррелятом хорошего профессионального певческого голоса является достаточно большой уровень высокой певческой форманты, обеспечивающий такое важное эстетическое качество певческого голоса как звонкость и полётность.

Полетность определена как свойство голоса хорошо слышаться в больших концертных залах и на фоне значительного музыкального сопровождения (оркестра, хора и др.).

В работе было показано, что свойство полетности певческого голоса может быть измерено в показателях его помехоустойчивости по отношению к стандартной звуковой помехе, эквивалентной среднему спектру оркестра.

Установлено, что свойство полетности определяется не только соотношением спектров помехи и голоса певца, но также и тем, что ВПФ в голосе певца располагается в зоне максимальной чувствительности слуха слушателя, что и обуславливает хорошую слышимость голоса певца на фоне сильного музыкального сопровождения.

В целом показано, что высокие эстетические свойства певческого голоса (звонкость и полетность) определяются не только соотношением спектров голоса и музыкального сопровождения (т. е. свойствами объекта), но и свойствами субъекта восприятия, благодаря тому, что высокая певческая форманта находится в зоне максимальной чувствительности слуха человека.

Все вышесказанное касается, вокально-технической стороны восприятия певческого голоса. В рамках субъектного и системного подходов мы рассматриваем слушателя как субъекта восприятия, свойства слуха которого вносят существенный вклад в обеспечение слышимости сигнала певческого голоса. Но это только полуправда о диаде «голос певца – слушатель». За кадром остается очень важная сторона описываемого процесса восприятия (события).

Эта сторона заключается в эмоционально-эстетических свойствах певческого голоса певца и его психологического воздействия на слушателя, ибо голос певца обладает не только важнейшим вокально-техническим свойством хорошей слышимости, но и несет слушателю важнейшую **психологическую информацию** эмоционально-эстетического характера. Шаляпин писал: «...Всякая музыка всегда, так или иначе выражает чувства, а там, где есть чувство, механическая передача оставляет впечатление страшного однообразия. Холодно и протокольно звучит самая эффектная ария, если в ней не разработана интонация фразы, если звук не окрашен необходимыми оттенками переживаний. В той интонации вздоха, которую я признавал обязательной для передачи русской музыки, нуждается и музыка западная, хотя в ней меньше, чем в русской, психологической вибрации. Этот недостаток – жесточайший приговор всему оперному искусству» (Шаляпин, 1957, с. 349).

Именно эта-то эмоционально-психологическая информация или, как он говорит, «психологическая вибрация» и составляла сущность вокального творчества Шаляпина и сделала его имя бессмертным в истории мирового оперного искусства. Шаляпин сознавал это и писал: «Я пою перед микрофоном студии, адресуясь не к конкретным собравшимся лицам, а к самому себе и к той публике, какую себе воображаю. Меня волнует и творчески возбуждает мысль, что микрофон этот знаменует собой присутствие миллионов слушателей – нынешних и будущих» (цит. по: Мальков, 1998).

В связи с этими высказываниями Шаляпина мы не вправе ограничивать рассмотрение процесса восприятия голоса певца только рамками таких, хотя и важнейших вокально-технических свойств, как звонкость и полетность звука (т. е. хорошей слышимости во всех уголках концертного зала и при наличии сильного музыкального сопровождения). Это было бы неправомерным сужением проблемы, так как есть и другая, не менее важная, т. е. эмоционально-художественная, исполнительская сторона певца-художника.

Для решения этой второй задачи, т. е. исследования эмоционально-эстетического воздействия голоса певца на слушателя, нами были разработаны экспериментальные методы и подходы, в частности, тест на оценку степени развитости эмоциональной импрессивности субъекта восприятия, названный нами *Тест на эмоциональный слух*. Недавно тест прошел дополнительную психометрическую оценку на предмет надежности и валидности (с участием Д. В. Люсина). Кроме того, у нас разработан тест на оценку эмоциональной экспрессивности речи и пения, с помощью которого были проведены исследования голоса разных певцов, голосов студентов Академии театрального искусства и голосов психологов – студентов 3-го курса ГУГН (Морозов, Люсин, Есин, Ямпольский, 2005; Автушенко, 2007).

Что касается настоящей работы, то рассматриваемую нами диаду «голос певца – слушатель» следует трактовать как сложную психофизическую систему, т. е. с позиций системного подхода (Барабанчиковым, Носуленко, 2004).

В отличие от простых психофизических опытов, где в качестве объекта исследования выступают сигналы звукового генератора, отражающие его свойства, в диаде «голос певца – слушатель» всегда за кадром стоит певец и его психологические интенции, направленные на субъекта восприятия.

И, естественно, с этих позиций мне кажется уместным и целесообразным трактовать эту систему (голос певца–слушатель) как психологический акт *сотворчества* (события), в котором каждая из сторон рассматриваемой диады (голос певца–слушатель) находится уже не в субъект-объектных отношениях, а, скорее, в субъект-субъектных, т. е. как бы в сложных психологических отношениях совместной деятельности (Журавлев, 2005). В данном случае – сотворчества певца и слушателя, т. е. в отношениях, характерных для любого творческого взаимодействия человека с человеком.

ЛИТЕРАТУРА

- Автушенко И. А. Развитие эмоционального слуха на уроках сценической речи // Сценическая речь: Сб. статей. М.: Изд-во ГИТИС, 2007. Вып. 2. С. 36–50.

- Аспелунд Д. Л. Развитие певца и его голоса. М. –Л., 1952.
- Барабанищikov В. А., Носуленко В. Н. Системность–восприятие–общение. М.: Изд-во ИП РАН, 2004.
- Бондарко Л. В. Некоторые количественные характеристики неоднородности русских ударных гласных // Вопросы фонетики. Л., 1964. С. 45–54.
- Журавлев А. Л. Психология совместной деятельности. М., 2005. С. 476–516.
- Зиндер Л. Р. Влияние темпа речи на образование отдельных звуков // Вопросы фонетики. Л., 1964. С. 3–27.
- Мальков М. Звучащая легенда // Русская муз. газета. 1998. № 2.
- Морозов В. П., Люсин Д. В., Есин И. Б., Ямпольский А. Ю. Восприятие эмоциональной экспрессивности речи и эмоциональный интеллект // Труды международной конференции «Функциональные стили звучащей речи», Москва, 5–7 сентября 2005 г. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. С. 91–93.
- Морозов В. П. Искусство резонансного пения. Основы резонансной теории и техники. М., 2002.
- Морозов В. П., Барсов Ю. А. Акустико-физиологические и вокально-педагогические аспекты полетности певческого голоса // 2-я научн. конф. по вопр. развит. музык, слуха и певческого голоса детей: Рефер. докл. М., 1965. С. 33–35.
- Ольховский Е. Г. Предисловие // Пальмеджани Ф. Король баритонов. М.–Л., 1966. С. 5–25.
- Покровский Н. Б. Расчет и измерение разборчивости речи. М., 1962.
- Скучик Е. Основы акустики. М., 1959. Т. 2.
- Цвиккер Э., Федкеллер Р. Ухо как приемник информации. М., 1971.
- Чистович Л. А. Психофизиологические характеристики слуха // Инженерная психология. М., 1964. С. 138–158.
- Шаляпин Ф. И. Страницы из моей жизни. Маска и душа. Статьи // Ф. И. Шаляпин. Литературное наследство. Т. 1. М., 1957.
- Fletcher H. Speech and hearing in communication. New York, 1953. X.

ГЛАВА 21

УВЕРЕННОСТЬ И АДЕКВАННОСТЬ ЕЕ ОЦЕНКИ ПРИ РЕШЕНИИ СЕНСОРНОЙ ЗАДАЧИ: КОГНИТИВНО-СТИЛЕВОЙ АСПЕКТ

Краткий анализ основных парадигм изучения уверенности

Следует отметить, что, экспериментальные исследования уверенности впервые были осуществлены в области психофизики. Характерной особенностью современных психофизических концепций является повышенное внимание к несенсорным факторам ощущений.

Необходимо особо отметить, что в последнее время определенные психофизические исследования ведутся в нескольких направлениях: системно-деятельностного подхода (Асмолов, 1984 и др.); парадигмы «субъектной психофизики» (Бардин и др., 1988; Скотникова, 1991, и др.); дифференциальной психофизики (Гусев, 2004, и др.); парадигмы воспринимаемого качества в психофизике восприятия естественной среды (Носуленко, 2007 и др.) и др.

К. В. Бардин (1991) полагал, что «наблюдатель представляет интерес в психофизическом эксперименте не только как источник числовых показателей, но и как субъект деятельности и поведения в специфических условиях, характеризующихся необходимостью действовать в трудных условиях дефицита сенсорной информации». Развитие идей активности субъекта в сенсорных измерениях развивалось в работах Ю. М. Забродина, М. Б. Михалевской, О. А. Конопкина, Н. И. Чуприковой, Ю. А. Индлина и их последователей.

Выясняется, что восприятие стимулов даже самых простых сигналов зависит не только (а иногда и не столько) от собственно сенсорной системы (остроты слуха или зрения, например), но и от процессов более высокого уровня: принятия решений; состояний, в которых находится человек, обнаруживающий или различающий стимулы; индивидуальных особенностей этого человека

и т.д. Например, на решение человеком сенсорной задачи влияют особенности его индивидуальности, а именно такие его свойства, как экстравертированность и невротизм (Забродин, Фришман, Шляхтин, 1981).

Применительно к психофизике развивается системно-деятельностный подход в психологии (Асмолов, 1984; см.: Гусев, 2004), который раскрывает процесс обнаружения сигнала как решение субъектом сенсорной задачи, выступающей системообразующим фактором сенсорного исполнения.

А. Н. Гусев (2004) выделил специфические особенности сенсорной задачи – это дефицит поступающей сенсорной информации; случайный характер предъявления стимулов; большая информационная нагрузка на субъекта, обусловленная высоким темпом предъявления стимулов; его ограниченная двигательная активность. Автор обосновал новое направление в психофизике – «дифференциальная психофизика сенсорных задач». А. Н. Гусев развил два основных направления в дифференциальной психофизике: изучение роли интер- и интраиндивидуальных особенностей наблюдателя в решении сенсорных задач. Систематически разработаны ресурсный и активационный подходы. Установлено влияние следующих ситуационных и индивидуально-личностных факторов на изменение уровня активации испытуемых: время суток, длительность опыта, сложность обнаружения сигнала, многосуточная депривация сна, экстраверсия – интроверсия. Более эффективно обнаруживали сигналы испытуемые, у которых сочетались высокие уровни активации и усилия: мотивированные на достижение и/или эмоционально-стабильные интроверты. Менее успешными были мотивированные на избегание неудачи и/или нейротичные экстраверты. Таким образом, разработан подход к исследованию разноуровневых механизмов (активационных, когнитивных и мотивационно-волевых) межсистемной регуляции сенсорно-перцептивного процесса. Вслед за Ю. М. Забродиным, М. Б. Михалевской, А. Г. Асмоловым А. Н. Гусев снимает оппозицию объектного и субъектного подходов. Ситуационные переменные – это объектные факторы, а индивидуальные свойства наблюдателя – субъектные.

В. Н. Носуленко развивает психофизическую методологию исследования восприятия предметов и событий естественной среды. На передний план выходит оценка составляющих воспринимаемого качества, которая затем сопоставляется с наблюдаемыми и измеряемыми характеристиками события. Он считает эмпирическим референтом воспринимаемого качества проблему адекватности и рассматривает ее в трех ракурсах: «обратная реконструкция» об-

раза воспринимаемого события, оценка воспринимаемого качества по семантическим шкалам, операционализация анализа воспринимаемого качества (Носуленко, 2007).

Выявлено влияние мотивационно-волевых особенностей субъекта (ориентация на состояние или действие) на решение сенсорных задач. Теория ориентации на состояние или действие принадлежит немецкому исследователю Ю. Кулю. Под ориентацией на действие понимается активное состояние намерения, направленное на трансформацию его в действие, в то время как ориентация на состояние связана с задержкой реализации намерения, вызванной мыслями и анализом прошлого, настоящего и будущего. В задачах зрительного различения и обнаружения, например, у лиц, ориентированных на действие, наблюдалось адекватное реагирование на изменение сенсорных (интенсивность) и несенсорных (последовательность сигналов) характеристик задачи. У лиц же, ориентированных на состояние, наоборот, было обнаружено отчуждение от задачи и отсутствие гибкости в исполнении (см.: Голубинов, 1991).

И. Г. Скотникова (2002) раскрывает психологическое содержание активности наблюдателя как организуемую им самим систему сенсорной деятельности. Она выделяет целевые, когнитивные, инструментальные компоненты этой деятельности. А именно: сенсорная задача, операциональные средства деятельности по приему и переработке информации и принятию решения, а также интер- и интраиндивидуальные механизмы выбора этих средств (что включает свойства личности, когнитивные стили человека, его функциональные состояния). Систематический анализ этих механизмов в отечественной науке впервые осуществили Фришман (Забродин, Фришман, Шляхтин, 1981) и Ратановой (1990). В анализе, проведенном И. Г. Скотниковой, показано, что, пожалуй, первыми среди «переменных субъекта» продолжающимися изучаться на протяжении всей истории психофизики (пусть с заметными перерывами) стали исследования его уверенности – сомнительности в суждениях о своих сенсорных впечатлениях. Ведь при решении пороговых задач, где всегда приходится отвечать, несмотря на высокий дефицит сенсорной информации, состояние сомнения типично для человека. Г. Т. Фехнер (1860) выделил интервал неопределенности в задаче различения (диапазон стимулов, различие между которыми почти не воспринимается), а С. Персе (1894) нашел эмпирическую меру неопределенности ощущений – степень уверенности в ответе, с которой он считал тесно связанной вероятность ответов «да» (был предъявлен стимул). На рубеже веков уверенность весьма интен-

сивно изучалась в психофизике в связи с правильностью ответов и их скоростью – ВР в задаче «больше-меньше» различения (по методу констант) с использованием трех и более градаций уверенности. Было установлено следующее:

- 1 Уверенность повышается монотонно с ростом точности, но отстает от нее (феномен недостаточной уверенности (НДУ) – *underconfidence*). При этом наблюдается интраиндивидуальная взаимосвязь уверенности и точности, но не межиндивидуальная.
- 2 С ростом точности и уверенности ответов скорость их растет (ВР падает).

Впоследствии было обнаружено, что взаимные соотношения между тремя основными параметрами решения изменяются с изменением условий наблюдения. В частности, точность и уверенность ответов растут с ростом длительности стимулов, задаваемых экспериментатором, и падают, когда они регулируются самим испытуемым. Обратная взаимосвязь уверенности и ВР наблюдается лишь в тех случаях, когда время на ответ не ограничивается; при его же ограничении, эта взаимосвязь прямая. Вовсе неоднозначным оказался также феномен НДУ. Уже на рубеже XIX и XX вв. началась дискуссия о том, насколько он типичен. Так, НДУ обнаружена в основном для низких и средних категорий уверенности, тогда как для высоких она исчезала и даже изменялась на «сверхуверенность».

А. Н. Гусев обнаружил феномен сверхуверенности при выполнении сложной пороговой задачи обнаружения сигнала. 70% испытуемых дали положительные значения индекса *Bias*, т. е. переоценивали свою уверенность в правильности обнаружения сигнала (Гусев, 2004).

В. Е. Дубровский отмечает, что эффективность измерений сенсорной чувствительности можно повысить, потребовав, чтобы наблюдатель дополнительно оценивал степень уверенности в правильности своих ответов. С помощью статистической процедуры индивидуально для каждого испытуемого подбираются такие веса, при которых оценки уверенности максимально соответствуют реальной правильности ответов. В. Е. Дубровский использует процентные оценки уверенности, что дает испытуемому плавную оценочную шкалу, на которой он может в каждой пробе весьма точно разместить градации своей уверенности. Разбиение же этой шкалы на ряд более крупных интервалов происходит лишь при обработке данных, не нарушая сам процесс оценивания. Не случайно, видимо, в последние годы зарубежные исследователи приходят к процентным оценкам уверенности (Дубровский, Скотникова, 2005).

Когнитивные стили как факторы эффективности решения сенсорных задач

Когнитивный стиль выступает в качестве существенного фактора эффективности решения сенсорных задач.

Особое внимание стоит уделить описанию основных психологических характеристик когнитивных стилей, используемых в работе.

Для анализа соотношения стилевых характеристик с показателями уверенности и когнитивного исполнения использовалась методология М. А. Холодной (1999, 2002), учитывающая «расщепление» полюсов когнитивных стилей и выделение в результате подгрупп на каждом полюсе.

Суть *стиля «Диапазон субъективной эквивалентности»* – в способности видеть сходство или различия между объектами. Основной (традиционный) показатель методики Гарднера «Свободная сортировка объектов» – количество выделенных групп; дополнительные (Холодная, 1999) – коэффициент категоризации и количество групп, состоящих из одного объекта. Представители полюса широкого диапазона эквивалентности – категоризаторы (создают мало групп и используют строгие высокообобщенные критерии сортировки в сочетании с низкой вариативностью объемов выделенных групп) и глобалисты (создают очень мало групп и склонны выделять группы на основе формальных либо несущественных признаков в сочетании с высокой вариативностью объемов выделенных групп). Представители полюса узкого диапазона субъективной эквивалентности – дифференциаторы (создают много групп и склонны использовать мелкомасштабные и в то же время строгие категориальные критерии при минимальном наличии либо отсутствии единичных групп) и детализаторы (создают много групп с тенденцией объединять объекты на основе ситуативных или субъективно-значимых критериев и выделять большое количество единичных объектов).

Психологические характеристики когнитивного стиля «Поле (не)зависимость». Тенденция контролировать влияние зрительного поля за счет опоры на внутренний опыт и легко выделять часть сложной фигуры получила название «полenezависимость» (ПНЗ), а тенденция полагаться на внешнее видимое поле и испытывать трудности при выделении частей целого – полenezависимости (ПЗ). Быстрое обнаружение простой фигуры в сложной характеризует полenezависимый стиль, медленное – полenezависимый. В свою очередь, на основе коэффициента обучаемости (дополнительного показателя, вычисляемого как разность времени выполнения первой и второй половин теста, деленная на время выполнения первой его

половины – Холодная, 1999) полюс полезависимости «расщепляется» на две подгруппы: фиксированные и мобильные полезависимые (с низким и высоким коэффициентом обучаемости, соответственно). На полюсе полезависимости фиксированные и мобильные полезависимые (с низким и высоким коэффициентом обучаемости соответственно).

Когнитивный стиль «Импульсивность-Рефлексивность» представляет собой склонность принимать решения быстро либо медленно и проявляет себя в условиях неопределенности, когда требуется осуществить правильный выбор, имея некоторое множество альтернатив. Основной показатель стиля – время первого ответа независимо от того, правильный или неправильный ответ дал испытуемый. Второй показатель – общее количество допущенных ошибок. По обоим показателям выборка делится на собственно рефлексивных (медленных/точных) и импульсивных испытуемых (быстрых неточных), а также на две особые категории, получивших название «быстрых/точных» и «медленных/неточных».

Когнитивный стиль «Ригидность-Гибкость познавательного контроля» характеризует степень субъективной трудности при смене способов деятельности. Основной показатель теста Струпа «Словесно-цифровая интерференция» – разность времени выполнения третьей карты теста «цветные слова» и второй карты «цвет» – ригидность (узость, жесткость) познавательного контроля. Дополнительный показатель теста Струпа – соотношение времени выполнения задания по второй карте «цвет» и первой карте «слова» (Холодная, 1999). Высокие значения этого показателя свидетельствуют о преобладании словесного способа переработки информации, низкие – сенсорно-перцептивного. Соответственно полюс ригидного контроля «расщепляется» на две подгруппы: собственно ригидные и интегрированные. На полюсе гибкого контроля – собственно гибкие и неинтегрированные.

Методики исследования

Методика диагностики уверенности в решении сенсорной задачи

В исследовании использовалась автоматизированная компьютерная методика, предназначенная для экспериментального исследования зрительного различения человеком временных интервалов, а также его уверенности в правильности выносимых им решений (Скотникова, Садов; см.: Скотникова, 2005).

Исследовалось пороговое зрительное различение длительностей в парах последовательных световых вспышек голубого люминесцентного индикатора прямоугольной формы яркостью около 20 нит

и угловым размером $11,5^\circ$. Стимулы предъявлялись на экранах мониторов компьютеров РС-286–486, работающих в монохромном режиме с разрешением 800×600 пикселей. Эксперимент проводился в автоматическом режиме. Использовалась экспериментальная парадигма «да–нет» с процедурой различения «одинаковые–разные» («same–different») и техникой лестниц для определения разностного порога. Длительность одного сигнала всегда составляла 600 мс («нейтральный интервал», наиболее адекватно воспринимаемый человеком), длительность другого ($600 \text{ мс} - \Delta t$) подбиралась индивидуально для каждого испытуемого в предварительных сериях как соответствующая традиционному разностному порогу Δt для 70–80%-ного правильного различения. Погрешность формирования длительностей стимулов не превышала 0,008 с, т. е. 1–2% от их значений. Пары одинаковых (по 600 мс каждый) и разных стимулов (600 мс и $600 \text{ мс} - \Delta t$), а также место более длительного стимула в парах разных стимулов были равновероятны и чередовались в случайном порядке. Интервал между вспышками в паре составлял 1 с, время на ответ (интервал между парами) не ограничивалось. После определения индивидуального порога испытуемого и тренировочных опытов с использованием выбранной индивидуальной величины Δt проводился основной опыт из 100 проб.

В каждой пробе испытуемые давали два ответа: 1) оценивали длительности в каждой паре как «одинаковые» или «разные» и 2) оценивали, уверены или сомневаются они в правильности первого ответа, т. е. в правильности различения. Нейтральная инструкция задавала симметричный критерий принятия решения и ориентировала испытуемых давать как можно более точные ответы. Фиксировались характер и время каждого первого моторного ответа.

Отметим, что специфика психофизических исследований такова, что требуется большая статистика измерений для каждого наблюдателя в целях получения достоверных показателей сенсорного исполнения. Поэтому подобные эксперименты проводятся, как правило, с участием хотя и небольшого количества испытуемых, но хорошо тренированных. Соответственно психофизические исследования выполняются обычно с участием не сотен испытуемых, как принято в дифференциально-психологических исследованиях (когда с каждым проводится 1–2 измерения по конкретной методике), а лишь десятков или даже единиц, что достаточно для получения значимых результатов в силу большого объема сенсорных измерений.

Оценивались следующие психофизические характеристики различения: порог различения длительностей (разностный порог Δt); общая по эксперименту пропорция правильных ответов (PC);

средняя категория уверенности в целом по эксперименту (MX); принятый показатель реализма уверенности: смещение ($Bias - B$) средней категории уверенности относительно правильности ответов в целом по эксперименту.

Когнитивно-стилевые методики

1. Методика диагностики стиля «Диапазон субъективной эквивалентности». Данный стиль диагностировался с помощью модификации методики Гарднера «Тест свободной сортировки объектов» (Gardner et al., 1959), предложенной В. Колгой (1976). В качестве стимульного материала выступали 35 отдельных карточек, на которых были написаны слова, характеризующие разные аспекты категории «время». Дополнительно были включены 35 карточек со словами, характеризующими категорию «водные объекты и рельеф».

Испытуемым предлагалось разложить карточки на группы наиболее удобным, логичным и естественным, с их точки зрения, способом. Подчеркивалось, что задание не имеет единственно правильного решения и что каждый выделяет группы по-своему, а также сообщалось о возможности выделения группы, состоящей только из одного объекта (карточки). Время выполнения задания не ограничивалось. По завершении выполнения задания испытуемого спрашивали, почему он разложил карточки именно таким образом, и просили дать название каждой группе. Итак, мы получали результаты для трех вариантов методики.

Показатели методики: количество выделенных групп; коэффициент категоризации; количество групп, состоящих из одного объекта.

Чем больше выделенных групп, тем уже диапазон эквивалентности (соответственно выше понятийная дифференциация). Крайним проявлением узости диапазона эквивалентности является компарментализация – склонность выделять чрезмерно большое количество групп, состоящих из одного объекта.

Коэффициент категоризации (Холодная, 1999) – показатель, характеризующий способность субъекта формировать группы объектов на основе четких общепринятых, а не формальных и субъективно значимых критериев.

Таким образом, в свою очередь, по показателю коэффициента категоризации полюс узкого диапазона эквивалентности «расщепляется» на подгруппы дифференциаторов и детализаторов. У первых этот показатель высокий, у вторых низкий. Полюс широкого диапазона эквивалентности «расщепляется» по этому же показателю на подгруппы категоризаторов и глобалистов. У первых этот показатель высокий, у вторых низкий.

2. Методика диагностики стиля «Поле (не)зависимость».

Данный стиль диагностировался с помощью методики Г. Уиткина «Включенные фигуры» (Witkin et al., 1974). Испытуемый должен найти (обвести указкой) простую фигуру внутри сложной геометрической фигуры. Сначала ему на некоторое время показывают простую фигуру, затем ее прячут и предъявляют сложную, т. е. он не имеет возможности видеть простую и сложную фигуры одновременно. Тестовый материал включает 24 карточки с изображенными на них сложными фигурами и 8 карточек с простыми фигурами.

Основной показатель теста – среднее время вычленения простой фигуры из сложной. Дополнительный – показатель повторного тестирования или коэффициент имплицитной обучаемости, вычисляемый как разность времени выполнения первой (с 1-й по 12-ю карточки) и второй (с 13-й по 24-ю карточки) половин теста, деленная на время выполнения первой его половины (Холодная, 1999).

Быстрое обнаружение простой фигуры в сложной характеризует полнезависимый стиль, медленное – полезависимый. В свою очередь, на основе коэффициента обучаемости полюс полезависимости «расщепляется» на две подгруппы: фиксированные (с низким коэффициентом обучаемости) и мобильные/латентные полнезависимые (с высоким коэффициентом обучаемости). Полюс полнезависимости соответственно: фиксированные (с низким коэффициентом обучаемости) и мобильные полнезависимые (с высоким коэффициентом обучаемости).

3. Методика диагностики стиля «Импulsивность – Рефлексивность».

А) Данный стиль диагностировался с помощью методики Дж. Кагана «Сравнение похожих рисунков» (Kagan, 1966). Испытуемому предъявлялись один тренировочный, затем 6 основных листов, на каждом из которых сверху находится изображение знакомого предмета (фигура-эталон), а внизу располагаются в два ряда 8 почти идентичных изображений этого же предмета, среди которых только одно полностью соответствует фигуре-эталону. Испытуемый должен найти и указать изображение, полностью идентичное рисунку-эталону.

Первый показатель теста – когнитивный темп – среднее время первого ответа независимо от того, правильный или неправильный ответ дал испытуемый. Второй – количество ошибок. Полюс импульсивности «расщепляется» на две подгруппы: быстрые/неточные (собственно импульсивные) и быстрые/точные. Полюс «рефлексивности» соответственно: медленные/точные (собственно рефлексивные) и медленные/неточные.

Б) Также для диагностики импульсивности-рефлексивности в работе использовался опросник Азарова (1983), состоящий из 33 утверждений. Испытуемый должен был дать ответ, согласен он или нет с каждым из них. Более высокий показатель по опроснику свидетельствовал о более выраженной рефлексивности испытуемого.

4. Методика диагностики стиля «Ригидный-Гибкий познавательный контроль».

А) Данный стиль диагностировался с помощью теста Струпа «Словесно-цветовая интерференция» (Stroop, 1935). Испытуемому последовательно предъявлялись три карты. На первой – сто слов (по 10 слов в 10 рядах), обозначающих названия 4 основных цветов (красный, синий, зеленый, желтый). Инструкция к карте: как можно быстрее прочитайте слова. На второй карте – сто разноцветных звездочек тех же цветов. Инструкция: как можно быстрее называть цвет звездочек. На третьей – сто слов, обозначающих название тех же цветов, причем название цвета не соответствует цвету чернил, которыми написано данное слово. Например, слово «красный» написано желтыми чернилами, слово «синий» – зелеными и т. д. Инструкция к этой карте: как можно быстрее назвать ЦВЕТ, которым написано каждое слово.

Основной показатель теста – разность времени выполнения третьей карты «цветные слова» и второй карты «цвет» – в виде Т3-Т2. Чем больше эта разница, тем более выражен эффект интерференции и, следовательно, более выражена ригидность (узость, жесткость) познавательного контроля. Меньшая разность соответствующих показателей характеризует большую выраженность гибкости познавательного контроля.

Дополнительный показатель – соотношение времени выполнения задания по второй карте «цвет» и первой карте «слова» Т2/Т1 (Броверман, 1960; Холодная 1999). Высокие значения этого показателя свидетельствуют о преобладании словесного способа переработки информации, низкие – сенсорно-перцептивного. Соответственно, полюс ригидного контроля «расщепляется» на две подгруппы: собственно ригидные (низкие значения Т2/Т1) и интегрированные (высокие значения Т2/Т1). Полюс гибкого контроля – собственно гибкие (высокие значения Т2/Т1) и неинтегрированные (низкие значения Т2/Т1).

Б) Также для диагностики ригидности-гибкости в работе использовался опросник Бренгельмана и Айзенка-Белюса, состоящие из 15 и 7 утверждений соответственно. Испытуемый должен был согласиться или не согласиться с каждым утверждением. Чем выше показатели по опросникам, тем более выражена ригидность. Подсчитывался суммарный показатель ригидности по обоим опросникам.

«Реализм» («калибровка») уверенности

Для анализа показателей уверенности в когнитивных задачах использовалась парадигма «реализма»/«калибровки» уверенности. Ниже приведены основные используемые в работе при анализе результатов показатели реализма уверенности:

PC (*proportion of correct responses*) = $ncor/N$ – пропорция всех правильных ответов, полученных в эксперименте;

$M(x) = \sum xi^*ni/N$ – средняя взвешенная категория уверенности,

$B(bias) = M(x) - PC$ – величина смещения средней категории уверенности относительно пропорции правильных ответов. Этот показатель характеризует адекватность выносимых испытуемым оценок уверенности своих ответов их реальной правильности. Чем меньше показатель «B», тем адекватнее оценки уверенности. Если величина смещения положительная, то имеет место самоуверенность, если отрицательная – недостаточная уверенность.

Обозначения: $ncor$ – общее число всех правильных ответов, полученных в эксперименте; N – общее число измерений; xi – численные значения используемых категорий уверенности (0,5 – для категории «сомневаюсь» и 1 – для категории «уверен»); ni – число случаев использования i -й категории уверенности.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Взаимосвязи между уверенностью, адекватностью решения сенсорной задачи и показателями стиля «Диапазон субъективной эквивалентности»

Корреляционный анализ выявил значимые взаимосвязи между:

- средней категорией уверенности и количеством групп в субтесте «Время» (положительная: $R_s = 0,42$; $p = 0,0007$);
- средней категорией уверенности и средним количеством групп в субтестах «Время» и «Рельеф» (положительная: $R_s = 0,3$; $p = 0,015$);
- отклонением средней категории уверенности от правильности (адекватностью) и общим количеством групп в субтесте «Время» (положительная: $R_s = 0,39$; $p = 0,001$);
- отклонением средней категории уверенности от правильности (адекватностью) и средним общим количеством групп в субтестах «Время» и «Рельеф» (положительная: $R_s = 0,28$; $p = 0,026$).

Таким образом, более уверенными в решении сенсорной задачи по различению зрительных временных интервалов оказались лица с узким диапазоном эквивалентности (дифференциаторы и де-

тализаторы). Обе эти подгруппы являются достаточно сходными по числу испытуемых, поэтому, думается, можно говорить о равноценном вкладе каждой из них в полученные результаты. Напомним, что лица данного полюса ищут скорее различие в объектах и событиях, чем сходство, представляют скорее мозаичную структуру ситуации, чем целостную. А предлагаемая им сенсорная задача как раз и состояла в различении зрительных интервалов, и они чувствовали уверенность при ее решении. По литературным данным, лица, находящиеся на этом полюсе стиля, характеризуются высоким уровнем тревоги, менее сформированной системой саморегуляции, испытывают больше отрицательных эмоций, обладают «копирующим» разумом.

Таким образом, уверенность в решении сенсорной задачи оказалась связанной с поиском различий в объектах и событиях, мозаичной картиной ситуации, наблюдательностью, склонностью к запоминанию разнообразных фактических данных, эрудицией, но неспособностью искать суть ситуации на основании глубинных закономерностей.

Однако в этой связи необходимо отметить, что, учитывая результаты кластерного анализа, данный результат более всего относится к подгруппе категоризаторов как значительно более многочисленной и вносящей больший вклад в полученные корреляции по сравнению с глобалистами.

Можно предположить, что склонность человека ориентироваться на выявление сходства, а не различий в ряду объектов, которая и характеризует полюс широкого диапазона эквивалентности, способствует формированию большей уверенности в себе, т. е. люди, ищущие общее в объектах, событиях, ситуациях, обладают большей уверенностью в себе.

В литературе отмечается связь полюса широкого диапазона эквивалентности («категоризаторы», «глобалисты») с обращением к прошлому. Вполне логичной представляется связь уверенности с прошлым опытом субъекта. Ведь анализ прошлого опыта с учетом его ошибок дает основание быть уверенным в том, что они будут учтены и субъект станет более уверенным в своих силах.

Также в отечественных исследованиях было показано, что аналитичность (узкий диапазон эквивалентности) соотносится с переоценкой хода физического времени, а в литературе переоценка длительностей временных интервалов связывается с переживанием отрицательных эмоций. Таким образом, детализаторы и дифференциаторы, испытывающие больше отрицательных эмоций, оказываются менее уверенными в себе.

Представители полюса узости диапазона эквивалентности характеризуются более высоким уровнем тревоги (Колга, 1976; Палей, 1982; Холодная, 1990), что может рассматриваться как косвенное свидетельство менее сформированной системы саморегуляции.

У «аналитиков» преобладают эмоции страха, а у «синтетиков» – гнева. Отметим, что тревога и страх относятся к астеническим (пассивным) переживаниям, а гнев – к стеническим (активным).

Согласно результатам исследования И. В. Тихомировой (1991; см.: Холодная, 2002), широкий диапазон эквивалентности входит в единый симптомокомплекс с полнезависимостью, интроверсией и преобладанием второсигнальных способов переработки информации.

Ч. Носал полагает, что индивидуальные различия в категоризации лежат не просто в различных типах понимания происходящего, а в разных типах ума. У лиц с узким диапазоном эквивалентности усиливается тенденция к выделению и запоминанию разнообразных фактических данных с доминированием эрудиции и наблюдения («копирующий разум»). А преобладание широких категорий создает условия для одновременного оперирования большим объемом сопоставимых данных, что проявляется в стремлении обнаруживать суть ситуации на уровне некоторых глубинных закономерностей («преобразующий разум») (Nosál, 1990; см.: Холодная, 2002).

Лица с широким диапазоном эквивалентности дают больше верных ответов в тесте на общую осведомленность. Они оказываются более успешными при выполнении когнитивных задач по сравнению с детализаторами и дифференциаторами.

Лица с широким диапазоном эквивалентности оказались менее уверенными, но более адекватными в решении сенсорной задачи.

2. Взаимосвязи уверенности и адекватности при решении сенсорной задачи и показателями стиля «Поле (не) зависимость»

Корреляционный анализ выявил взаимосвязь средней категорией уверенности и коэффициента обучаемости (положительная: $R_s = 0,31$; $p = 0,013$).

Таким образом, уверенными в решении сенсорной задачи оказались лица с высоким коэффициентом обучаемости (как полнезависимые, так и полнезависимые!), т. е. чем человек лучше усваивает новые знания, чем быстрее он приобретает опыт в незнакомых ему ситуациях, тем он более уверен в правильности своих ответов в психофизических экспериментах, которые сами по себе являются для него новым опытом. Способность к обучению (мобильность) в большей степени способствует формированию уверенности, чем

сам факт полнезависимости. Таким образом, можно говорить о том, что именно мобильные испытуемые, причем как полнезависимые, так и полнезависимые увереннее ориентируются в новых условиях. И тем, и другим испытуемым приходится затрачивать некоторые усилия при выполнении заданий перцептивного уровня, и, вероятно, эти усилия и позволяют им быть более уверенными при выполнении заданий сенсорного уровня.

Литературные данные в основном касаются дихотомии ПЗ–ПНЗ без учета критерия «коэффициент обучаемости», поэтому провести сравнительный анализ представляется достаточно трудно.

К. Гроотом (Groot, 1984) была получена криволинейная зависимость между уровнем тревожности и показателями выполнения теста Уиткина, т. е. полнезависимость соответствует среднему уровню тревожности. М. А. Холодная, интерпретируя эти результаты, считает, что они демонстрируют эффект «расщепления» полюсов ПЗ и ПНЗ, но уже с точки зрения различий представителей соответствующих подгрупп по показателям уровня тревоги. По ее мнению, самый высокий уровень тревожности должны демонстрировать «фиксированные ПЗ». Но также и «фиксированные ПНЗ» должны быть достаточно тревожными. Если рассматривать уверенность в себе как величину, обратно пропорциональную тревожности, то эти выводы подтверждаются результатами нашей работы. Самыми неуверенными в себе оказались фиксированные ПЗ лица, неуверенными – фиксированные ПНЗ лица, достаточно уверены в себе – мобильные ПЗ лица и самые уверенные – мобильные ПНЗ лица. Испытуемые с максимальной ПНЗ («фиксированные») в силу нечувствительности к перцептивным сигналам настолько хорошо структурируют поле, что у них механизмы интеллектуального контроля собственной активности выработались в гораздо меньшей степени. У ПЗ испытуемых, в опыте которых перцептивные сигналы играют доминирующую роль, контролирующие процессы оказываются сформированными на достаточно низком уровне.

3. Взаимосвязи между уверенностью, адекватностью решения сенсорной задачи и показателями стиля «Импульсивность-Рефлексивность»

Корреляционный анализ выявил следующие значимые взаимосвязи. Для уверенности в решении сенсорной задачи и импульсивностью-рефлексивностью по тесту Кагана между:

- средней категорией уверенности и временем первого ответа (отрицательная: $R_s = -0,31$; $p = 0,0014$);

- средней категорией уверенности и общим временем ответа (отрицательная: $R_s = -0,37$; $p = 0,003$).

Анализ значимости различий в уровне характеристик между стилевыми подгруппами (критерий Манна–Уитни) выявил значимые различия между подгруппами собственно импульсивных и собственно рефлексивных испытуемых по показателям уверенности в правильности своих ответов при различении временных интервалов и по смещению уверенности ответов относительно их реальной правильности ($p = 0,02$). Импульсивные лица более уверены в правильности даваемых ответов, но в то же время рефлексивные реалистичнее их оценивают.

Меньшая уверенность в решении сенсорной задачи рефлексивных лиц объясняется тем, что им свойственно обдумывать, проверять, в том числе и свои ощущения. Отсюда – и больше сомневающийся ответов. Но при оценке своих сенсорных впечатлений эти испытуемые оказываются более внимательными, чувствительными к своим возможным ошибкам и, как следствие, их оценки более соответствуют реальной правильности результатов. Стоит подчеркнуть, что меньшая уверенность рефлексивных лиц обнаружена только в сенсорной сфере.

Основное различие между полюсами импульсивности и рефлексивности заключается в объеме той информации, которую человек собирает до принятия решения: импульсивные лица принимают решения на недостаточной информационной основе, а рефлексивные – на основе максимально полной информации о ситуации.

Результаты обзора, проведенного Мессером (1976), свидетельствуют о том, что для рефлексивных лиц характерна большая выраженность вербального контроля своего поведения, а также они более успешны в произвольном замедлении своих моторных действий.

Итак, более уверенными в своих ощущениях оказались импульсивные лица, не затрачивающие много времени на их анализ. Однако в ситуации, требующей оценки своих ощущений, их анализа, т. е. в случае привлечения когнитивного компонента, рефлексивные лица оказываются более адекватными.

4. Взаимосвязи между уверенностью, адекватностью решения сенсорной задачи и показателями стиля «Ригидность–Гибкость познавательного контроля (Флексибельность)»

Корреляционный анализ выявил значимые взаимосвязи между отклонением средней категории уверенности от правильности и ригидностью по Бренгельману (положительная: $R_s = 0,29$; $p = 0,02$).

Взаимосвязей уверенности в решении сенсорной задачи и в себе с показателями данного когнитивного стиля не выявлено, но значимые взаимосвязи были получены между порогом различения зрительных временных интервалов и основным показателем ригидности по Струпу ($R_s = 0,31$; $p = 0,03$).

Анализ значимости различий в уровне характеристик между стилевыми подгруппами, выделенными кластерным анализом, не выявил значимых различий по показателям трех составляющих уверенности.

Выводы исследования

Таким образом, мы проанализировали взаимосвязи между уверенностью, адекватностью и когнитивными стилями и описали основные механизмы этих взаимосвязей. На этом основании представляется весьма интересным составить психологические портреты людей, уверенных в решении сенсорной задачи и адекватно оценивающих свою уверенность.

Психологический портрет человека, уверенного в решении сенсорной задачи:

- быстро принимает решения на недостаточной информационной основе;
- не всегда тщательно обдумывает и проверяет свои действия (или ощущения);
- не особо внимателен и не чувствителен к возможным ошибкам;
- выявляет скорее различия, чем сходство в предметах и явлениях;
- при оценке событий применяет жесткие субъективные критерии и оценочные шкалы с малой ценой деления;
- быстро обучается и осваивает новое.

Психологический портрет человека, адекватно оценивающего свою уверенность при решении сенсорной задачи:

- длительно и тщательно обдумывает ситуацию перед принятием решения;
- умеет анализировать допущенные ошибки;
- проявляет любознательность, способен оперировать обобщенными понятийными структурами;
- концентрирует внимание на целом, а не на частном;
- при оценке событий применяет мягкие критерии и слабо дифференцированные оценочные шкалы.

В работе было показано, что при решении сенсорной задачи человеку свойственно переоценивать правильность ее решения (феномен сверхуверенности).

ЛИТЕРАТУРА

- Бардин К. В., Скотникова И. Г., Фришман Е. З. Субъектный подход в психофизике // Проблемы дифференциальной психофизики / Под ред. К. В. Бардина. М., 1991.
- Вайнер И. В. Субъективная уверенность при решении психофизической задачи: Дис. ... канд. психол. наук. М., 1990.
- Головина Е. В. Когнитивно-стилевые детерминанты уверенности при решении сенсорной задачи // Методы исследования психологических структур и их динамики / Под ред. Савченко Т. Н. М: Изд-во ИП РАН, 2002. Вып. 2. С. 114–120.
- Головина Е. В. «Соотношение уверенности в решении сенсорно-перцептивной задачи с когнитивными стилями» // Сборник научных статей / Под ред. И. В. Блинниковой. М.: Высшая школа психологии, 2004. С. 12–21.
- Головина Е. В. Когнитивно-стилевой портрет человека, уверенного в сенсорных впечатлениях // Психофизика сегодня / Под ред. В. Н. Носуленко, И. Г. Скотниковой. М.: Изд-во ИП РАН, 2007. С. 254–261.
- Гусев А. Н. Психофизика сенсорных задач. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004.
- Дубровский В. Е., Скотникова И. Г. Моделирование субъективной оценки степени уверенности в психофизическом эксперименте // Труды Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы» (IEEE AIS'05)» М: Физматлит, 2005. Т. 4.
- Забродин Ю. М., Фришман Е. З., Шляхтин Г. С. Особенности решения сенсорных задач человеком. М.: Наука, 1981.
- Носуленко В. Н. Психофизика восприятия естественной среды. М.: Изд-во ИП РАН, 2007.
- Проблемы дифференциальной психофизики / Под ред. К. В. Бардина. М., 1991.
- Скотникова И. Г. Проблема уверенности – история и современное состояние // Психологический журнал. М., 2002. Т. 23. № 1.
- Скотникова И. Г. Экспериментальное исследование уверенности в решении сенсорных задач // Психологический журнал. 2005. Т. 26, № 4. С. 41–56.
- Холодная М. А. Феномен расщепления полюсов когнитивных стилей // Интеллект и творчество / Под ред. А. В. Воронина. М.: Изд-во ИП РАН, 1999.
- Холодная М. А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума. СПб.: Питер, 2002.

ГЛАВА 22

ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОСПРИЯТИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ

В работе использовался междисциплинарный подход для проведения комплексного исследования взаимосвязи восприятия человеком качества жизни и его психофизических характеристик.

В современной российской психологии многие исследователи стремятся к целостному познанию изучаемых явлений, их интересуют взаимодействие различных по природе процессов, структура и уровни организации психики. Ставится вопрос о логике взаимопереходов и взаимовключений психических реальностей и принципах объединения разнородного психологического знания. Так, одно и то же явление, например, восприятие, в рамках деятельностного подхода описывается как построение предметного образа действительности, в рамках когнитивного подхода – как прием и переработка информации, в рамках экологического подхода – как функция проксимальной стимуляции. При этом каждый из подходов претендует на целостное изображение своего предмета. Но какова же психологическая сущность восприятия в целом? Как получить более или менее объемную картину перцептивного процесса? Решение этих и подобных проблем предполагает более глубокое использование идеи системности в психологии, в частности, представления о полисистемности бытия человека и системной детерминации его психики и поведения (Барабанщиков, 2005; Савченко, 2005).

Другая тенденция заключается в усилении субъектного подхода (С. Л. Рубинштейн, Б. Г. Ананьев, К. А. Абульханова, А. В. Брушлинский), согласно которому любые психические явления и формы активности рассматриваются в конкретной отнесенности к тому, кому они принадлежат. Человек как субъект способен распоряжаться собственными ресурсами и благодаря этому строить отношения

с миром. Активность, самодетерминация, саморегуляция, саморазвитие и самосовершенствование – ключевые характеристики субъекта жизни, которые сегодня подвергаются интенсивному исследованию. Через понятие субъекта психофизика получает выход на проблемы психологии личности и общения.

Известно, что восприятие сигналов зависит не только от собственно сенсорной системы: слуха, зрения, обоняния, но и от процессов более высокого уровня: принятия решений; состояний, в которых находится человек, обнаруживающий или различающий стимулы; индивидуальных особенностей этого человека и т. д. Например, на решение человеком сенсорной задачи влияют особенности его индивидуальности, а именно такие его свойства, как экстравертированность и невротизм (Забродин, Фришман, Шляхтин, 1981).

В работе В. А. Барабанщикова и Е. В. Головиной (2007) анализируются основные тенденции современных исследований по психофизике в связи с проходившей в 2006 г. конференцией «Психофизика сегодня».

Системно-деятельностный подход в психологии раскрывает процесс обнаружения сигнала как решение субъектом сенсорной задачи, выступающей системообразующим фактором сенсорного исполнения. А. Н. Гусев (2004) выделяет специфические особенности сенсорной задачи – это дефицит поступающей сенсорной информации; случайный характер предъявления стимулов; большая информационная нагрузка на субъекта, обусловленная высоким темпом предъявления стимулов; его ограниченная двигательная активность. Автор обосновал новое направление в психофизике – «дифференциальная психофизика сенсорных задач». А. Н. Гусевым установлено влияние следующих ситуационных и индивидуально-личностных факторов на изменение уровня активации испытуемых: время суток, длительность опыта, сложность обнаружения сигнала, многосуточная депривация сна, экстраверсия – интроверсия. Более эффективно обнаруживали сигналы испытуемые, у которых сочетались высокие уровни активации и усилия, мотивированные на достижение, и/или эмоционально-стабильные интроверты. Менее успешными были мотивированные на избегание неудачи и/или нейротичные экстраверты. Таким образом, разработан подход к исследованию разноуровневых механизмов (активационных, когнитивных и мотивационно-волевых) межсистемной регуляции сенсорно-перцептивного процесса.

Все большее внимание в современной психофизике уделяется восприятию информации в условиях естественной среды. Осознается необходимость сблизить организацию процедур лаборатор-

ного исследования с реальными способами жизни и деятельности человека. В. А. Садов и Н. Г. Шпагонова изучают роль семантики в восприятии не только искусственных, но и естественных звуков. В. И. Белопольский провел психофизическую оценку читаемости статической и движущейся рекламной информации, предъявленной на внешних носителях в условиях естественной городской среды.

Таким образом, развивается и получает новое содержание не только понятие **субъекта**, но и **объекта** деятельности. Это не просто объективная действительность или ее элементы (материальные процессы, вещи и их свойства), а объективная действительность, взятая в определенном отношении к воспринимающему и включающая его в качестве одного из своих компонентов. Речь идет о форме единства индивида и среды, которая описывается в терминах «ситуации», «жизненного пространства» (К. Левин) или «мира» (С. Л. Рубинштейн). Объект-ситуация характеризует способ объединения разнонаправленных сил и потенций в целое, в котором цементирующая роль и инициатива принадлежит субъекту. Осуществляя сенсорно-перцептивный процесс, субъект конституирует свое бытие, одновременно подчиняясь ему. Объект-ситуация становится главной альтернативой объекту-вещи, восприятие и оценку которого принято изучать. В отличие от объекта-вещи он не дается заранее и до завершения сенсорно-перцептивного акта остается недоопределенным. Очевидно, что использование этого понятия требует преобразований в методологии психофизического исследования. Перспектива анализа объекта-ситуации заключается в возможности сблизить организацию процедур лабораторного эксперимента с реальными способами жизни и деятельности человека не только в физическом, но и в экологическом, социальном и культурном отношениях.

Психофизика не может и не должна оставаться неизменной. Она развивается, наполняется новым конкретным содержанием, сохраняя при этом главное – функциональное значение в структуре психологического знания. Очевидно, что с изменением этой структуры характер психофизических исследований становится иным (Барабанщиков, Головина, 2007).

Современная психофизика не ограничивается академическими исследованиями. Решая задачи, которые ставит жизнь, общество, она превращается в область профессиональной практической деятельности. Здесь формулируются ее нормы и идеалы, складывается понятийный аппарат, формируются новые представления. Психофизические методы, первоначально выступавшие в качестве средств верификации теоретических гипотез, становятся основой процедур

диагностики и коррекции. К числу наиболее важных сфер приложения психофизического знания по-прежнему относятся инженерно-психологическое проектирование, оптимизация функционирования систем «человек–машина (техника)» и «человек–среда», оценка потребительских свойств различной продукции (Барабанчиков, Носуленко, 2004).

В. Н. Носуленко была обоснована актуальность изучения «воспринимаемого качества» как предмета и метода исследования психофизики восприятия естественной среды. Представление о воспринимаемом качестве направляет анализ психологических феноменов «от сложного к простому», а само восприятие полагает не в его обезличенном, вырванном из жизненного контекста виде, а как событие в жизни человека, характеризующее фрагменты или эпизоды его бытия. В центре внимания оказываются не отдельные характеристики восприятия, а их функциональный интеграл – воспринимаемое качество, которое определяет систему субъективно значимых свойств события, образующих ядро перцептивного образа (Носуленко, 2007).

На стыке с данными сферами, как нам кажется, находится **восприятие качества жизни**, а именно таких сторон жизни как здоровье, отдых, удовлетворенность своей жизнью и мн. др.

Современная концепция качества жизни связана с изучением социально-психологических механизмов, опосредующих реальное удовлетворение жизнью, а также когнитивного и аффективного компонентов качества жизни (Савченко, Головина, 2006). Удовлетворенность жизнью рассматривается как интегративный субъективный показатель, который отражает отношение человека к условиям жизни и степень его удовлетворенности уровнем жизнедеятельности.

Одной из основных является проблема выделения, а затем интеграции объективной и субъективной составляющих качества жизни (КЖ). Разработка данной проблемы представляет значительные трудности методологического и методического порядка. Проведение таких исследований может прояснить многие спорные вопросы, связанные с общей удовлетворенностью жизнью, психологической реальностью счастья и той ролью, которую они играют в процессе жизни.

Условия, в которых живет человек, могут быть объективно нормальными или связанными с опасностью и риском. Первые исследования экологии человека относились как раз к области «психология окружающей среды». Получили концептуальное и экспериментальное развитие такие направления, как изучение реакций человека на взаимодействие с окружающей средой и вызываемого им стресса,

исследования восприятия качества окружающей среды и связанные с этим предпочтения того или иного пространственного окружения (Савченко, Головина, 1996, 2007; Головина, Савченко; 2001)

Под КЖ понимается совокупность жизненных ценностей, характеризующих созидательную деятельность, удовлетворение потребностей и развитие человека, удовлетворенность людей жизнью, социальными отношениями и окружающей средой (Зараковский, Степанова, 1998). Данное определение является операциональным: оно было введено с целью разработки методики оценки КЖ. Однако, хотя авторами представленной теории и отмечается важность субъективной составляющей КЖ, проблема оценки субъективного КЖ остается открытой.

В медицинских науках можно встретить понимание КЖ как восприятия индивидуумом его положения в жизни в контексте культуры и системы ценностей. В качестве критериев оценки КЖ вводятся следующие составляющие: физические, психологические, уровень независимости, жизнь в обществе, окружающая среда, духовность.

Нами было введено операциональное определение КЖ как интегрального показателя жизнедеятельности людей, который включает как объективные, так и субъективные компоненты. Объективные показатели характеризуют уровень жизнедеятельности конкретного человека, а субъективные показатели – степень удовлетворения его потребностей и ценностных структур разного уровня (Савченко, Головина, 2006).

Предполагается, что на восприятие качества жизни, с одной стороны, влияют культурные особенности и ценностные ориентации различных групп, с другой стороны, существуют инвариантные показатели, которые присущи различным группам, такие как: экономический и социальный факторы, индивидуальные особенности др. В дальнейшем ценности различного уровня будем называть понятиями.

Понятие «субъективное качество жизни» (СКЖ) было введено нами для исследования и описания структуры восприятия качества жизни.

Под СКЖ мы понимаем степень соответствия реальных ценностных структур различного уровня идеальным структурам в представлении респондентов.

Для определения СКЖ и удовлетворенности жизнью интегрировались подходы к их определению.

Первый основан на сопоставлении реальных и идеальных структур субъективных представлений людей о качестве жизни. Второй основан на включении общей удовлетворенности жизнью в струк-

туру оцениваемых респондентами параметров качества жизни (в таком случае удовлетворенность жизнью может интерпретироваться посредством других параметров качества жизни). С помощью метода экспертного оценивания были выделены понятия качества жизни.

В результате ранжирования понятий, выделенных на двух временных срезах по субъективной значимости каждого понятия для качества жизни респондента, был сформирован единый список из 20 понятий. **Понятия (параметры) качества жизни:** высшее образование, здоровье, уверенность в завтрашнем дне, экология, спорт, профессия, животные, стабильная обстановка в стране, питание, развлечения, любовь, любимая работа, свое жилье, достойный круг общения (друзья), семья, полноценный отдых, материальное положение (достаток), духовные ценности, самоуважение и уважение окружающих, личная свобода.

Для выявления структуры удовлетворенности жизнью проводилось эмпирическое исследование, цель которого состояла в определении структуры и в построении модели общей удовлетворенности жизнью, параметрами которой являются не только представление человека об отдельных характеристиках качества жизни, но и соотнесение им объективных и субъективных показателей качества своей жизни.

Испытуемые: студенты, люди среднего возраста (230 человек).

Подходы и методы анализа. Удовлетворенность жизнью зависит от соотношения реальных и идеальных структур качества жизни, от реального уровня жизни, социального статуса, саморегуляции, направленности личности. Для решения задачи прогноза необходимо выявить пороговый уровень расхождения реальных и идеальных структур качества жизни, который характеризует переход от нормального развития личности, стремящейся достичь поставленной перед собой цели, к состоянию, когда несоответствие столь велико, что может вызвать внутренний конфликт.

Был разработан метод для измерения этого уровня и проведены теоретические и эмпирические исследования удовлетворенности жизнью как многомерной характеристики, которая является функцией: субъективных представлений людей о реальном и идеальном качестве их жизни, объективных показателей и личностных характеристик.

Результаты. Реконструированные факторные пространства удовлетворенности жизнью студентов и людей среднего возраста интерпретируются с помощью двух одинаковых факторов: первый – когнитивная оценка жизни, второй – эмоциональная оценка жизни.

Понятия, определяющие первый фактор структуры удовлетворенности жизнью для студентов: отдых, развлечения, еда; для людей среднего возраста: здоровье, любовь, материальное благосостояние. Второй фактор определяются одинаковыми понятиями (счастье, общая удовлетворенность жизнью, принятие себя) как для среднего возраста, так и для студентов (Головина, 2002).

Выявленная взаимосвязь эмоциональной оценки жизни с принятием себя, уверенностью в себе определила одно из направлений следующего этапа исследования, а именно разработку модели взаимосвязи удовлетворенности жизнью и стиля поведения, а также влияния уверенности в себе на удовлетворенность жизнью, представление о счастье и радостное отношение к жизни (Савченко, Головина, 2006).

На данном этапе исследования авторами для более полного и целостного описания восприятия была поставлена **задача включения психофизических характеристик в общее исследование субъективного качества жизни** для определения положения этих характеристик в структуре качества жизни.

Таким образом, работа **направлена** на исследование взаимосвязи между восприятием качества жизни человеком и его сенсорным восприятием (правильностью решения сенсорной (психофизической) задачи).

Гипотезы

- 1 Существуют взаимосвязи между некоторыми параметрами СКЖ и параметрами принятия решения сенсорной задачи.
- 2 Возможно, существуют группы людей, обладающих различной выраженностью психофизических характеристик и параметров качества жизни.

Методы

1. Метод измерения субъективного качества жизни (СКЖ) и удовлетворенности жизнью.

Под СКЖ мы понимаем степень соответствия субъективных оценок реального и желаемого качества жизни респондента.

Операциональное определение СКЖ: среднее взвешенное отклонение субъективных оценок реального КЖ от желаемого КЖ по каждому понятию, входящему в структуру СКЖ. Для того чтобы высокие значения показателей СКЖ соответствовали более высокому уровню удовлетворенности жизнью, отклонения по каждому понятию вычитаются из максимального балла оценок.

$$СКЖ = \frac{\sum_i (P_{iu} - P_{ip})}{N},$$

где СКЖ – общий показатель субъективного качества жизни;

$\delta P_i = P_{iu} - P_{ip}$, отклонение субъективных оценок желаемого (идеального) КЖ от реального КЖ по каждому понятию

P_{max} – максимальный балл оценок;

P_{iu} – оценки желаемого КЖ

P_{ip} – оценки реального КЖ

В соответствии с нормой разработанной методики оценки СКЖ (для $P_{max} = 10$) при СКЖ больше 5 субъективное качество жизни респондента считается высоким (однако при показателях, близких к 9, можно ставить вопрос о достоверности результатов). СКЖ близкий к 5 говорит о норме. Показатель СКЖ, меньший 5, свидетельствует о низком уровне субъективного качества жизни; при показателе СКЖ, меньшем 2, существует возможность внутриличностного конфликта.

2. *Калибровка уверенности.* За рубежом наиболее распространена парадигма изучения калибровки (реализма) уверенности (*realism of confidence*), предложенная Д. Адамс и П. Адамс (J. Adams, P. Adams, 1961). В рамках этого направления изучается соответствие уровня уверенности уровню правильности исполнения. Полная адекватность оценок результатов деятельности человека означает совершенную калибровку. Несоответствие приводит к сверхуверенности и недостаточной уверенности.

И. Г. Скотникова приходит к выводу, что, по-видимому, **уверенность в суждениях** – системное психическое образование, выполняющее и когнитивную функцию – рефлексия субъекта о полученной информации, своих знаниях, вероятностный прогноз правильности решений, и регулятивную – переживание и состояние, связанное с этими процессами и влияющее на латентность и результат решения: принятие той или иной гипотезы в зависимости от прогноза их правильности, и когнитивно-регулятивную – оценка правильности решения. Таким образом, уверенность является существенной коррелятой как приема и переработки информации, так и принятия решения (Скотникова, 2005).

Методики

1. *Опросник Савченко, Головиной «Субъективное качество жизни» (СКЖ).* Опросник включает удовлетворенность жизнью в структуру параметров качества жизни (оцениваемых по 10-балльной шкале), являющихся наиболее значимыми для респондентов. Предлага-

лось оценить удовлетворенность каждым из представленных выше **параметров КЖ** и указать желаемую оценку этих параметров.

2. Методика измерения психофизических характеристик. В исследовании использовалась компьютерная методика, предназначенная для экспериментального исследования зрительного различения человеком временных интервалов, а также его уверенности в правильности выносимых им решений (Скотникова, Садов). Исследовалось пороговое зрительное различение длительностей в парах последовательных световых вспышек люминесцентного индикатора. Использовалась экспериментальная парадигма «да-нет» с процедурой различения «одинаковые-разные» и техникой лестниц для определения разностного порога.

В каждой пробе испытуемые давали два ответа: 1) оценивали длительности в каждой паре как «одинаковые» или «разные» и 2) оценивали, уверены или сомневаются они в правильности первого ответа, т. е. в правильности различения. Нейтральная инструкция задавала симметричный критерий принятия решения и ориентировала испытуемых давать как можно более точные ответы. Фиксировались характер и время каждого первого моторного ответа.

Оценивались следующие **психофизические характеристики** различения: порог различения длительностей (разностный порог Δt); общая по эксперименту пропорция правильных ответов (PC); средняя категория уверенности в целом по эксперименту (MX); принятый показатель реализма уверенности: смещение ($Bias - B$) средней категории уверенности относительно правильности ответов в целом по эксперименту.

Испытуемые: 21 человек (граждане Германии в возрасте от 20 до 40 лет).

Данные по этим методикам были получены Е. В. Головиной в проекте, выполненном в Германии в Мюнхенском Университете.

Методы анализа данных – непараметрическая статистика и методы кластерного анализа: «К средних» и «Иерархический».

Анализ данных

Корреляционный анализ (Спирмена) выделил следующие значимые взаимосвязи:

- разностный порог положительно связан с удовлетворенностью работой, профессией и показателем СКЖ;
- правильность ответа положительно связана с отдыхом;
- уверенность в правильности ответа положительно связана с уверенностью в завтрашнем дне и отрицательно – с личной свободой;

- адекватность оценки уверенности по отношению к правильности отрицательно связана с оценкой уверенности в завтрашнем дне.

С помощью иерархического кластерного анализа выделились два кластера характеристик (рисунок 1). Первый кластер: дифференциальный порог и СКЖ; правильность решения психофизической задачи и отдых; личная свобода и спорт. Второй кластер: уверенность в решении психофизической задачи, сдвиг уверенности по отношению к правильности решения задачи (адекватность) и здоровье; уверенность в завтрашнем дне, работа, профессия, образование.

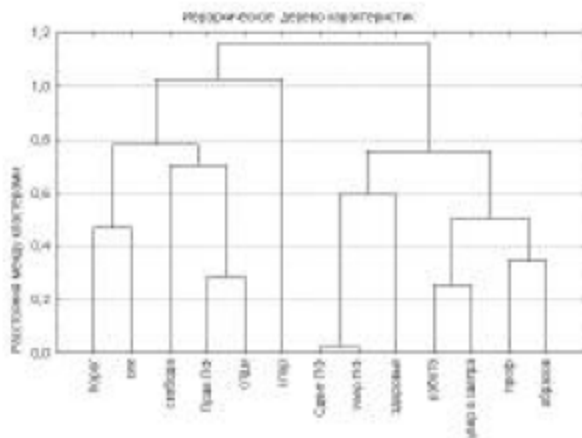


Рис. 1. Иерархическое дерево кластеризации

Метод К-средних выделил две группы испытуемых с различной выраженностью характеристик (рисунок 2). Испытуемые, вошедшие в первый кластер, имеют высокие показатели личностной свободы, занятий спортом, отдыха, высоко оценивают удовлетворенность своей жизнью. Испытуемые, вошедшие во второй кластер, имеют высокие показатели здоровья, уверенности в завтрашнем дне, удовлетворенности своей профессией и работой.

Е. В. Головиной (2007, 2008) описаны психологические портреты людей как уверенных в решении сенсорной задачи, так и адекватно оценивающих свою уверенность.

Человек, уверенный в решении сенсорной задачи: быстро принимает решения на недостаточной информационной основе; не всегда тщательно обдумывает и проверяет свои действия (или ощущения); не особо внимателен и не чувствителен к возможным ошибкам; выявляет скорее различия, чем сходство в предметах и явлениях; быстро обучается и осваивает все новое (Головина, 2007).

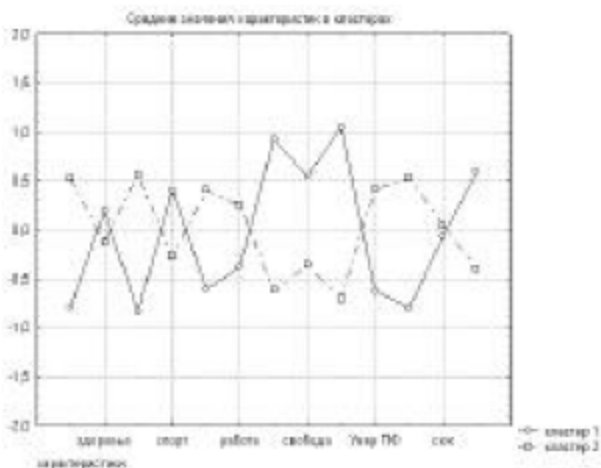


Рис. 2. Усредненные профили испытуемых в кластерах

Человек, адекватно оценивающий правильность решения сенсорной задачи: длительно и тщательно обдумывает ситуацию перед принятием решения; умеет анализировать допущенные ошибки; способен оперировать более обобщенными понятийными структурами; концентрирует внимание на целом, а не на частном (Головина, 2008).

В работах И. Г. Скотниковой и Е. В. Головиной было показано, что при решении сенсорной задачи человеку свойственно переоценивать правильность ее решения (феномен сверхуверенности).

Таким образом, полученные результаты подтверждают гипотезы и свидетельствуют о валидности разработанной и используемой нами методики «СКЖ». Показатели психофизической задачи оказались взаимосвязаны с параметрами качества жизни, относящимися к психофизиологической сфере жизнедеятельности, такими как здоровье, отдых, спорт; и несвязанны с любовью, духовностью, общением и др.

Результаты данного исследования позволили к когнитивно-стилевым характеристикам уверенных в сенсорных впечатлениях добавить, что эти люди обладают хорошим здоровьем, уверены в завтрашнем дне, удовлетворены своей профессией и работой.

Люди, адекватно оценивающие правильность решения сенсорной задачи, обладают личностной свободой, занимаются спортом, полноценно отдыхают, высоко оценивают удовлетворенность своей жизнью.

С другой стороны, полученные результаты соответствуют концепции воспринимаемого качества, которая предполагает необходимость исследовать когнитивную ситуацию, в которой принимается решение, а не просто реакцию на стимул. В данной постановке задачи такой ситуацией для респондентов являлась ситуация оценивания качества их жизни и общей удовлетворенности жизнью.

ЛИТЕРАТУРА

- Барабанщиков В. А. Восприятие и событие. СПб.: Алтея, 2002.
- Барабанщиков В. А., Носуленко В. Н. Системность. Восприятие. Общение. М.: Изд-во ИП РАН, 2004.
- Барабанщиков В. А., Головина Е. В. Российская психофизика на пути к интеграции // Психология. М.: ВШЭ, 2007.
- Головина Е. В. Когнитивно-стилевой портрет человека, уверенного в сенсорных впечатлениях // Психофизика сегодня / Под ред. В. Н. Носуленко, И. Г. Скотниковой. М.: Изд-во ИП РАН, 2007. С. 254–261.
- Головина Е. В. Уверенность и адекватность ее оценки при решении сенсорной задачи: когнитивно-стилевой аспект (статья в данной монографии).
- Головина Г. М. Структура показателя общей удовлетворенности жизнью // Качество жизни: критерии, оценки. Отечественный и зарубежный опыт. М., 2002. С. 17–19. Головина Г. М., Савченко Т. Н. Система показателей и методы оценки качества жизни. М.: Изд-во ИП РАН, 2001.
- Гусев А. Н. Дифференциальная психофизика сенсорных задач. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004.
- Забродин Ю. М., Лебедев А. Н. Психофизиология и психофизика. М.: Наука, 1977.
- Зараковский Г. М., Степанова Г. Б. Психологический потенциал: индивидуальный и популяционный // Человек. 1998. № 3. С. 54–63.
- Носуленко В. Н. Психофизика восприятия естественной среды. М.: Изд-во ИП РАН, 2007.
- Савченко Т. Н. Моделирование динамики системных образований психики // Идея системности в современной психологии / Под редакцией В. А. Барабанщикова. М.: Изд-во ИП РАН, 2005. С. 99–119.
- Савченко Т. Н., Головина Г. М. Субъективное качество жизни: подходы, методы оценки, прикладные исследования. М.: Изд-во ИП РАН, 2006.
- Савченко Т. Н., Головина Г. М. Экология человека: теоретическое и экспериментальное исследование качества жизни. М.: Изд-во ИП РАН, 1996.
- Савченко Т. Н., Головина Г. М. Восприятие экологической опасности (Труды ИП РАН). М.: Изд-во ИП РАН, 1997.
- Скотникова И. Г. Субъектная психофизика: результаты исследований // Психологический журнал, 2005. Т. 26. № 3. С. 84–99.
- Толочек В. А. Стили профессиональной деятельности. М.: Смысл, 2000.
- Хащенко В. А., Хащенко Н. Н. Влияние экологических факторов на оценку качества жизни личности // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Качество жизни: государственное регулирование и социальное партнерство». М., 2003. С. 94–96.
- Худяков А. И., Зароченцев К. Д. Психофизика обобщенного образа. СПб.: СПб ГУ, 2000.

ГЛАВА 23

ОБЛЕГЧЕНИЕ СЛУХОВОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ КОРОТКИХ, ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СТИМУЛОВ С ОГРАНИЧЕННОЙ ПОЛОСОЙ ЧАСТОТ В ШУМЕ

Введение

Явление ухудшения распознавания интенсивности коротких, высокочастотных стимулов в тишине и восстановления (облегчения) распознавания в шуме было обнаружено довольно давно (Радионова, 2003; Raab, Taub, 1969; Carlyon, Moore, 1984; Florentine et al., 1987; van Schijndel, et al., 1999; Baer et al., 1999; Nizami et al., 2001). В работе (Raab, Taub, 1969) сравнивались дифференциальные пороги распознавания интенсивности (ДПИ) коротких стимулов, предъявляемых в тишине и шуме. В тишине ДПИ оказались хуже при средних уровнях стимулов, чем при малых и больших (Радионова, 1969, 2003; Raab, Taub, 1969). Добавка шума фиксированного уровня приводила к облегчению распознавания интенсивности коротких стимулов. Показано (van Schijndel et al., 1999; Baer et al., 1999; Nizami et al., 2001), что для стимулов, предъявляемых в тишине, ухудшение распознавания при средних уровнях больше, если полоса частот стимула соизмерима с шириной критической полосы слуха (Цвикер, Фельдкеллер, 1971). Причем для стимулов с уровнем 10 дБ над порогом обнаружения в шуме добавка слабого шума ухудшала распознавание, а добавка сильного – улучшала (Baer et al., 1999).

Явление облегчения распознавания обнаружено также при различении интенсивности тональных импульсов в условиях прямой последовательной маскировки (Zeng et al., 1991; Plack, Viemeister, 1992). Маскером служил узкополосный шум длительностью 100 мс и уровнем 90 дБ УЗД. Стимулом был отрезок тона длительностью 20 мс, максимум спектра которого приходился на 1 или 6 кГц. Сти-

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 06-04-48456.

мул предъявлялся спустя 100 мс после окончания действия маскера. Оказалось, что при действии стимула в отсутствии маскера ДПИ плавно спадают с ростом уровня. Однако в условиях прямой маскировки ДПИ имеют локальное ухудшение при средних уровнях. Если же стимул смешать с шумом, имеющим спектральную вырезку в области полосы частот стимула, то ДПИ восстанавливаются (Plack, Viemeister, 1992).

В качестве причин наблюдаемых явлений исследователи указывают: (1) частотно-временное сегментирование звуков на периферии слуховой системы (van Schijndel et al., 1999); (2) синхронный Оп-ответ множества возбужденных волокон (Nizami et al., 2001); (3) различия свойств адаптации волокон слухового нерва с разной спонтанной активностью (Zeng et al., 1991); (4) центральные слуховые механизмы (Carlyon, Moore, 1984; Plack, Viemeister, 1992; Plack et al., 1995); (5) компрессивную нелинейность колебаний базилярной мембраны (Baer et al., 1999) и т.д. Поскольку пока нет единого мнения относительно причин ухудшения ДПИ в тишине и их облегчения в шуме, было решено повторить эксперименты и проверить гипотезу об изменении свойств кодирования интенсивности коротких, высокочастотных стимулов с изменением уровня стимулов. Гипотеза была сформулирована в ходе модельных исследований (Римская-Корсакова, 2005а, б; Rimskaya-Korsakova, 2005). В данной работе приводится ее психоакустическое обоснование.

Суть гипотезы, а также цели и задачи психоакустических экспериментов приводятся в следующем разделе.

Моделирование реакций волокон слухового нерва, вызванных парами коротких высокочастотных стимулов

Известно, что периферическое кодирование высокочастотных стимулов зависит не только от свойств возникающих синаптических потенциалов, но и процессов восстановления возбудимости волокон слухового нерва после генерации спайков, включающих рефрактерность и адаптацию. Для того, чтобы снять ограничения, вызванные процессами восстановления возбудимости волокон, участвующих в кодировании стимулов, был декларирован принцип залпов (Wever, 1949). В соответствии с этим принципом амплитудно-временная структура высокочастотных стимулов воспроизводится в суммарной реакции множества возбужденных волокон слухового нерва с одинаковыми характеристическими частотами. Однако в ходе модельных исследований (Римская-Корсакова, 2005а, б; Rimskaya-Korsakova, 2005) было установлено, что кодирование амплитудно-временной структуры коротких (длительность которых

меньше 20 мс), высокочастотных (максимум спектра которых выше 1 кГц) стимулов фиксированным набором волокон слухового нерва имеет свои особенности, которые мы рассмотрим.

Пусть стимулом является пара относительно высокочастотных импульсов, интервал между которыми меньше времени восстановления возбудимости отдельных волокон, но больше длительности импульсных реакций, возникающих на каждый из импульсов. Пусть также импульсы достаточно короткие и при небольших уровнях вызывают в волокнах генерацию только одного спайка. Модельные эксперименты показали (Римская-Корсакова, 2005а, б; Rimskaaya-Korsakova, 2006), что во множестве волокон с одинаковой характеристической частотой реакция на второй импульс пары может возникнуть только двумя способами. Первый способ, «стохастический», обусловлен спонтанной активностью (СА), он предусматривает появление реакции в тех волокнах, которые не среагировали на первый импульс. Второй способ, «детерминированный», непосредственно связан с восстановлением возбудимости волокон, он предусматривает появление реакций в уже ответивших волокнах, у которых изменилась (повысилась) чувствительность после генерации спайка на первый импульс.

Исследуя реакции фиксированного набора волокон с одинаковой СА, вызванные парой коротких стимулов, легко обнаружить, что если уровень импульсов соответствует порогам реакции кодирующих стимул волокон, то возникшие на оба импульса реакции невелики, но одинаковы, поскольку вызванная вторым импульсом реакция формируется стохастическим способом. Именно в этом случае реализуется принцип залпов, т. е. суммарная реакция набора возбужденных волокон (или периферическое описание) воспроизводит амплитудно-временную структуру (или временной профиль) пары (Rimskaaya-Korsakova, 2006). С ростом уровня импульсов все больше и больше волокон вовлекается в ответ на первый импульс, а из-за рефрактерности число ответивших волокон на второй импульс практически не меняется. На периферии формируется синхронный Оп-ответ, препятствующий воспроизведению временного профиля пары. Поскольку число волокон кодирующих импульс фиксированно, то, начиная с некоторого среднего уровня импульсов, рост Оп-ответа прекращается.

Дальнейший рост уровня ведет к постепенному восстановлению способности набора волокон к воспроизведению структуры пары импульсов за счет детерминированных реакций, заставляющих одно и то же волокно дважды отвечать на каждый из импульсов пары. При этом если интервал между импульсами меньше, чем период

восстановления возбудимости волокон, то количество повторных реакций, возникших на второй стимул, будет зависеть от свойств восстановления волокон.

Таким образом, на периферии при среднем уровне не только не воспроизводится временной профиль пары, но и меняется способ его кодирования. Для того чтобы восстановить способность множества к воспроизведению амплитудно-временной структуры пары, нужно десинхронизировать мешающий Оп-ответ. Для этого можно смешать пару импульсов с шумом. Сложение стимула с шумом ведет к десинхронизации Оп-ответа. В шуме понижается абсолютная чувствительность множества волокон (повышаются пороги реакции волокон), повышается дифференциальная чувствительность ко второму импульсу пары, а также восстанавливается способность множества к воспроизведению амплитудно-временной структуры пары. В диапазоне средних уровней для каждого уровня импульсов существует определенный уровень шума, при котором возможно воспроизведение временной структуры стимулов.

Сформулируем условия реализации принципа залпов или условия воспроизведения временного профиля пар коротких, высокочастотных импульсов с ограниченной полосой частот (Римская-Корсакова, 2005а, б; Rimskaya-Korsakova, 2006). На периферии амплитудно-временная структура пары воспроизводится наиболее точно, за счет стохастического способа формирования реакции на второй импульс, когда его доля превышает долю детерминированного. Такие условия выполняются, если уровень импульсов соответствует порогам реакции большинства кодирующих импульсов волокон, независимо от того, предъявляется импульс в тишине или шуме.

Известно, что в слуховой системе одна рецепторная внутренняя волосковая клетка связана с множеством волокон, отличающихся порогами реакций, СА, шириной и крутизной динамической характеристики (Liberman, 1978; Geisler et al., 1985; Winter et al., 1990). Разброс порогов может достигать 20 дБ (Kiang et al., 1965).

Принцип залпов реализуется за счет стохастической составляющей реакции. У низкороговых волокон с высокой СА доля этой составляющей довольно значительна при любых уровнях импульсов. Модельные расчеты показывают, что рост уровня импульсов относительно быстро (т. е. в соответствии с крутизной динамической характеристики) переводит волокна с высокой СА в состояние насыщения, при этом стохастические реакции постепенно заменяются детерминированными. Доля детерминированных реакций превосходит долю стохастических только в состоянии насыщения.

Рост уровня импульсов плавно (и тоже в соответствии с крутизной динамической характеристики) переводит высокопороговые волокна с низкой СА в состояние насыщения. Ниже уровня насыщения есть некоторый граничный уровень, резко разделяющий два способа формирования реакций на второй импульс пары. При граничном уровне возникает синхронный Оп-ответ, в который вовлечены практически все волокна с низкой СА, при этом реакция на второй стимул у них практически отсутствует. При указанном граничном уровне волокна с высокой СА уже находятся в состоянии насыщения. В их суммарной реакции уже сформирован Оп-ответ, который, однако, меньше, чем у волокон с низкой СА (Frisina, 2001); реакция на второй стимул уже сформирована детерминированным способом и поэтому искажена. Поскольку длительность процессов восстановления оценивается в 20–30 мс (Parham et al., 1996), постольку Оп-ответ будет оказывать влияние на воспроизведение амплитудно-временной структуры пар импульсов с интервалом меньшим, чем 20–30 мс.

С ростом уровня стимулов выше указанного граничного уровня доля детерминированных реакций в волокнах с низкой СА постепенно возрастает; временной профиль пары импульсов воспроизводится уже лучше набором возбужденных волокон, но также с искажениями, обусловленными процессами восстановления.

Используем только что рассмотренные свойства периферического кодирования временного профиля пары импульсов для объяснения свойств слухового распознавания интенсивности коротких высокочастотных стимулов в тишине и шуме.

В тишине слуховая система легко распознает изменения уровня стимулов пороговых уровней, поскольку интенсивность кодируется суммарным числом возникших спайков. Это число пропорционально числу возбужденных волокон и уровню стимула. Рост уровня стимулов сопровождается вовлечением в реакцию все большего числа волокон с одинаковыми характеристическими частотами, но разной СА; формированием синхронного Оп-ответа; а также укорочением временного периферического описания. За счет возникновения синхронного Оп-ответа и из-за того, что набор волокон фиксирован, при некотором среднем уровне нарушается пропорциональность между уровнем стимула и суммарным числом возникших спайков, которое пока еще пропорционально числу вовлеченных волокон. Слуховое распознавание интенсивности ухудшается.

Дальнейший рост уровня стимулов сопровождается переходом к кодированию интенсивности тем же набором волокон, в которых

уже возникли детерминированные или повторные реакции. Число возникших спайков превышает число генерирующих их волокон, но пропорционально уровню действующего стимула. Слуховое распознавание интенсивности восстанавливается.

Таким образом, изменение уровня стимулов меняет способ кодирования интенсивности. При пороговых уровнях интенсивность кодируется суммой спайков, однократно возникших в фиксированном наборе волокон, а при высоких уровнях повторно возникающими спайками, которые, вероятно, суммируются (интегрируются) слуховой системой за некоторый определенный период времени. Распознавание интенсивности нарушается при средних уровнях, когда число возникших спайков не пропорционально уровню стимула. Сложение стимула с шумом ведет к десинхронизации Оп-ответа, повышению доли стохастических реакций и восстановлению пропорциональности уровня стимулов числу возникших спайков.

Все сказанное выше относится к особенностям временного периферического кодирования коротких стимулов с полосой частот, ограниченной одной критической полосой слуха. Эти особенности не проявляются, когда стимулом являются короткие, широкополосные или стационарные, узкополосные сигналы, интенсивность которых при любых уровнях кодируется числом спайков, пропорциональных уровню. В первом случае роль синхронного Оп-ответа снижается временным интегрированием однократно возникших спайков во множестве волокон с разной характеристической частотой, а во втором – временным интегрированием повторно возникших спайков в одних и тех же волокнах.

Целью данной работы была проверка теоретически установленных условий реализации принципа залпов в реальном слуховом эксперименте. Так как возникшие на периферии искажения не могут быть компенсированы слуховой системой, предполагается, что распознавание стимулов тем лучше, чем точнее воспроизведение амплитудно-временной структуры коротких стимулов. Ожидается, что слуховое распознавание стимулов может быть лучше вблизи порогов обнаружения, причем для каждого уровня стимула может быть найден определенный уровень шума вблизи порога обнаружения, при котором распознавание в шуме будет лучше, чем в тишине.

Для достижения поставленной цели планируется оценить влияние ширины полосы частот коротких стимулов на величину ухудшения ДПИ в тишине. Для стимулов, обнаруживающих наихудшие пороги, планируется оценить зависимость ДПИ от уровня добавляемого к стимулу шума.

Метод исследования

Эксперименты проводились в звукозаглушенной камере Акустического института. Был использован аппаратно-программный комплекс (Телепнев, 2004; Трошенкова и др. 2007), обеспечивающий генерацию стимулов, управление экспериментом и протоколирование данных. Стимулы формировались в виде файлов. Для проигрывания файлов использовался 16-битный цифроаналоговый звуковой адаптер Creative SB Live 1024, имеющий соотношение сигнал/шум 90 дБ и частоту квантования 44,1 кГц. Для фиксации реакций испытуемых использовалось подключенное к компьютеру через последовательный порт устройство сигнализации и обратной связи (пульт). При нажатии клавиш пульта программа формировала порции отчета эксперимента и генерировала новую испытательную последовательность. Испытуемые прослушивали стимулы через головные телефоны Shennheiser HD-265. Стимулы подавались одновременно на два уха.

Для определения порогов распознавания стимулов в программе была реализована адаптивная методика двухальтернативного вынужденного выбора. Испытательная последовательность имела два интервала длительностью 0,9 с, разделенные паузой в 0,7 с. Обнаруживаемые (или сравниваемые) стимулы в случайном порядке возникали в середине одного (или каждого) из интервалов. Испытуемый путем нажатия на одну из двух клавиш пульта определял, в каком из двух интервалов появляется более громкий стимул. После двух правильных ответов пиковое значение амплитуды более громкого стимула уменьшается на 30% (на 2,3 дБ), после одного неправильного – увеличивается также на 30%. При таком изменении амплитуд, измеренный порог будет соответствовать 71% правильного распознавания стимулов по психометрической кривой (Levitt, 1979). Если ошибка среднего значения порога по первым четырем точкам поворота достигала 2 дБ, то шаг уменьшения/увеличения пиковых значений амплитуд уменьшался в два раза, но никогда не был меньше 7,5%. За порог принималось среднее значение амплитуд стимулов, определенное по последним восьми из одиннадцати точек поворота. Последовательно проводили четыре измерения порогов. Если ошибка среднего значения порога превышала 2 дБ, то проводились дополнительные измерения.

Стимулами были короткие одиночные импульсы с огибающей в форме Гауссовой функции (колоколообразные импульсы).

$$S(t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot t \cdot F_c) \cdot \exp\left(-\frac{\pi \cdot t^2}{D^2}\right),$$

где A – пиковое значение амплитуды стимула. Для таких стимулов длительность стимулов D (на уровне 0,7) от пикового значения амплитуды и ширина полосы частот B связаны соотношением $B=1/D$. Ширина полосы частот B устанавливалась равной 40; 200; 1000; 5000 Гц, при этом соответственно длительность D была равна 25; 5; 1; 0,2 мс.

Уровни стимулов оценивались по пиковой амплитуде в дБ УЗД (т. е. уровнях звукового давления непрерывного тона с амплитудой соответствующей пиковой) и в дБ относительно амплитуды стимула, полученной на пороге слышимости, определяемой индивидуально для каждого испытуемого и для каждого стимула.

Стимулы предъявлялись в тишине или непрерывном полосовом шуме. Максимум спектра шума соответствовал 4 кГц. Ширина полосы частот шума была равна 1000 Гц. Длительность соответствовала длительности интервалов испытательной последовательности. Уровень шума оценивался в дБ УЗД непрерывного тона, амплитуда которого соответствовала значению среднеквадратичного отклонения или в дБ относительно значения среднеквадратичного отклонения, полученного на пороге слышимости.

Дифференциальные пороги распознавания интенсивности (ДПИ) коротких стимулов измерялись в дБ как отношение $20\log(dA/A)$, где A – пиковое значение амплитуды стимула, dA – минимальное приращение амплитуды достоверно обнаруживаемое испытуемым. ДПИ в тишине и непрерывном шуме были определены при уровнях 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 и 70 дБ над индивидуальным порогом слышимости.

В измерениях участвовали трое испытуемых с нормальным слухом. Все испытуемые имели 2–4-часовую практику, предшествующую основным измерениям.

Результаты

Первоначально были оценены ДПИ коротких стимулов с разной шириной полосы частот и разными уровнями (рисунок 1). Стимулы предъявлялись в тишине. Поскольку индивидуальные данные обнаружили одинаковую динамику изменений, они были усреднены. Как и ожидалось, зависимости ДПИ от уровня не были монотонны. В области уровней 20–30 дБ над порогом слышимости ДПИ заметно ухудшались. Величина локального ухудшения ДПИ зависела от ширины полосы. При ширине 1000 и 200 Гц и уровне 20 дБ ДПИ были самыми высокими. При расширении полосы до 5000 Гц или сужении ее до 40 Гц ДПИ уменьшались. Причем при полосе 40 Гц максимальное значение ДПИ смещалось в сторону больших уровней стиму-

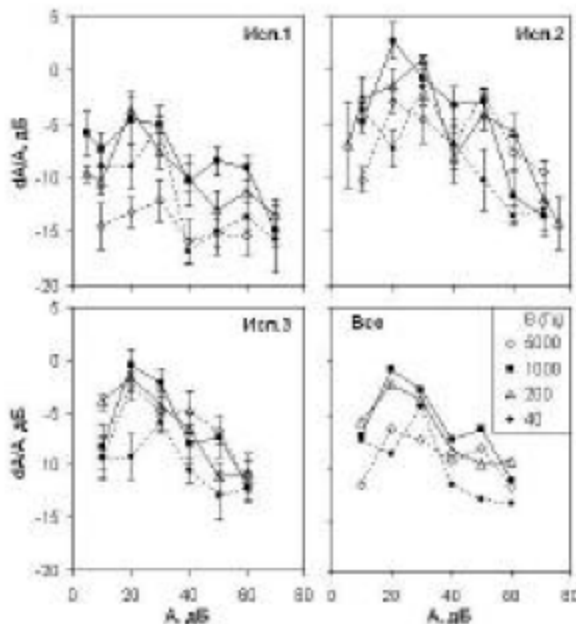


Рис. 1. Индивидуальные и усредненные зависимости дифференциальных порогов различения интенсивности коротких стимулов, предъявляемые в тишине. Частота максимума спектра стимула – 4 кГц. Ширина полосы частот стимула в Гц указана в качестве параметра. По оси абсцисс – уровень стимулов в дБ относительно порога слышимости. По оси ординат – дифференциальные пороги различения dA/A в дБ

лов, т. е. к 30 дБ. Таким образом, полученные данные показывают, что в основе ухудшения ДПИ при средних интенсивностях лежат свойства слухового амплитудно-временного кодирования стимулов.

В дальнейших экспериментах были использованы стимулы с шириной спектра в 1000 Гц, для которых локальное ухудшение ДПИ было максимальным.

В следующем эксперименте к стимулам был добавлен шум. Семейство зависимостей ДПИ от уровней добавляемых шумов было получено для стимулов разных уровней (рисунок 2). Ошибки средних значений, полученных в индивидуальных измерениях, не превышали 2 дБ, поэтому не показаны. Символы, расположенные на осях абсцисс, отмечают уровни шумов, при которых стимул заданного уровня не обнаруживается испытуемым. Символы, расположенные на осях ординат рисунка 2, соответствуют ДПИ, полученным для одиночных стимулов в тишине.

Индивидуальные данные отражают общие закономерности изменения ДПИ с ростом уровня шума (рисунок 2, строка I). Так, при уровне стимулов 10 дБ добавление шума приводило к заметному ухудшению распознавания интенсивности, однако при уровне стимулов 20 дБ появлялся эффект облегчения распознавания стимулов в шуме. При дальнейшем росте уровня стимулов от 30 до 50 дБ эффект облегчения уменьшался и при уровне стимулов в 60 дБ исчезал совсем. Облегчение распознавания проявлялось

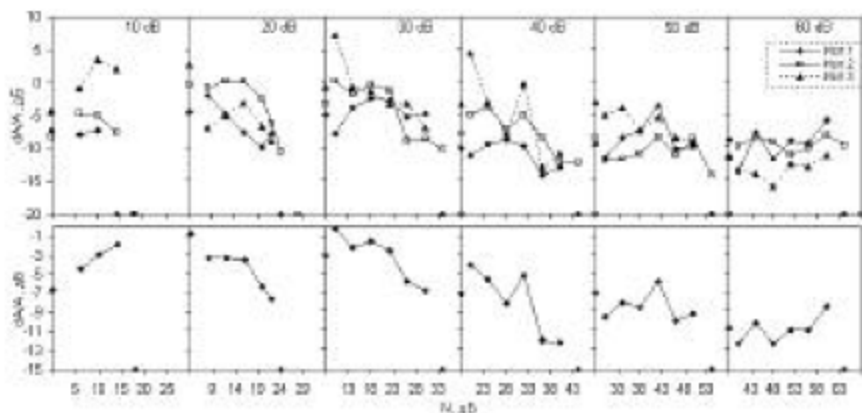


Рис. 2. Индивидуальные и усредненные зависимости дифференциальных порогов различения интенсивности коротких стимулов от уровня добавляемого шума. Уровни стимулов указаны в дБ относительно порога слышимости в качестве параметров. По оси абсцисс – уровень шума в дБ относительно порога слышимости. По оси ординат – дифференциальные пороги различения dA/A в дБ. Символ на оси абсцисс отмечает уровень шума, при котором задача распознавания превращается в задачу обнаружения более громкого стимула на фоне шума. Символ на оси ординат отмечает значения ДПИ, полученные при предъявлении стимулов в тишине. Верхняя строка показывает результаты индивидуальных измерений, нижняя – усредненные данные

тем в большей степени, чем ближе был уровень стимула к порогу обнаружения стимула в шуме. Так, при уровнях стимулов в 20, 30, 40 и 50 дБ наименьшие ДПИ были получены при уровнях шумов в 40, 50, 60 и 70 дБ соответственно.

Оценим эффект облегчения как разность между порогом распознавания, полученным в тишине, и минимальным порогом распознавания, полученным в шуме. Максимальная величина облегчения в 10–11 дБ была зарегистрирована у испытуемого 2 при уровнях стимулов 20 и 40 дБ над порогом слышимости и у испытуемого 3 при уровне стимула 20 дБ (рисунок 2). Для испытуемых 2 и 3 облегчение в 4–7 дБ имело место в диапазоне уровней стимулов 20–50 дБ, а для испытуемого 1 – только при уровнях стимулов 20 и 40 дБ.

Усредненные данные (рисунок 2, строка II) демонстрируют постепенное уменьшение эффекта облегчения распознавания интенсивности с ростом уровня стимула. Величина облегчения составила 7 дБ при уровне стимулов 20 дБ; 3,8 дБ при уровне 30 дБ; 5,1 дБ при уровне 40 дБ и 3 дБ при уровне 50 дБ. Причем добавка слабого шума к стимулам, имеющим уровень 30 и 40 дБ, могла ухудшить

распознавание на 3 дБ, но добавка сильного – облегчить на 4–5 дБ. Добавка шума к самым тихим (10 дБ) и самым громким (60 дБ) стимулам ухудшала на 4,7 дБ или не меняла значения ДПИ.

Таким образом, для каждого из средних уровней (20–50 дБ) стимулов найден определенный уровень шума, находящийся вблизи порога обнаружения стимула на фоне шума, при котором ДПИ в шуме заметно меньше, чем без шума. Эффект облегчения распознавания возникает на средних уровнях стимулов и когда уровни стимулов находятся вблизи порогов обнаружения стимулов в шуме.

Обсуждение

В данной работе проверяется гипотеза, согласно которой явление ухудшения распознавания интенсивности коротких стимулов в тишине и облегчения распознавания в шуме возникает при изменении уровня стимулов на границе смены способов кодирования интенсивности. При любом способе кодирования, если вариации числа спайков, сгенерированных множеством волокон слухового нерва, пропорциональны вариациям уровня стимулов, то различия в уровнях легко обнаруживаются испытуемыми. Однако на границе двух способов возникновение синхронного Оп-ответа разрушает эту пропорциональность, поскольку число волокон кодирующих стимул фиксировано. В таком случае, если стимул смешать с шумом и десинхронизовать возникший Оп-ответ, можно восстановить пропорциональность между числом возникающих спайков и уровнем действующего стимула и, как следствие, восстановить способность испытуемых распознавать интенсивность стимулов. Причем для каждого уровня стимула из диапазона средних уровней есть определенный уровень шума, когда шум облегчает распознавание стимулов. Рассмотренные особенности появляются как следствие амплитудно-временного (не спектрального) кодирования коротких, высокочастотных стимулов с ограниченной полосой частот.

Проведенные исследования способности испытуемых к распознаванию интенсивности стимулов, предъявляемых в тишине, подтвердили наличие локального ухудшения ДПИ в области средних уровней (20–50 дБ над порогом слышимости). ДПИ были наибольшими при условии, что ширина полосы частот стимула соответствует или в 5 раз меньше критической полосы слуха, образованной на частоте максимума спектра стимула. При расширении полосы частот стимула свыше критической полосы или при увеличении длительности стимула ДПИ уменьшаются (рисунок 1). Такой же результат был получен ранее (Nizami et al., 2001). У девяти испытуемых оценивались ДПИ коротких стимулов с максимумом спектра

2 кГц и длительностью 1,25, 2,51 или 10,03 мс (полоса частот стимула соответственно равна 800 Гц, 400 Гц и 100 Гц). При средних уровнях наихудшими были пороги, полученные стимулов с полосой частот 400 Гц. Кроме этого, зависимости ДПИ коротких стимулов с максимумами спектров 1 и 4 кГц от их длительности (van Schijndel, et al., 1999; Baer et al., 1999) также обнаружили ухудшение распознавания при совпадении полосы частот стимула с шириной критической полосы слуха. Таким образом, ухудшение распознавания интенсивности коротких стимулов зависит от свойств стимулов и, как следствие, от способа его слухового кодирования, а именно слухового амплитудно-временного (не спектрального) кодирования.

При средних уровнях распознавание можно облегчить, если стимул смешать с шумом (рисунок 2). Этот результат соответствует данным, полученным другими исследователями (Raab, Taub, 1969; Carlyon, Moore, 1984; Schijndel van, et al., 1999; Baer et al., 1999).

Проведенные измерения (рисунок 2), как и результаты работы (Baer et al., 1999), показали, что «слабый» шум (уровень которого заметно меньше уровня стимула) может ухудшить распознавание интенсивности, а «сильный» шум (уровень которого соответствует уровню стимула) – улучшить.

Полученные результаты (рисунок 1 и 2) выявили новые закономерности, которые были предсказаны модельными исследованиями (Римская-Корсакова, 2005а, б; Rimskaya-Korsakova, 2006). А именно для каждого стимула среднего уровня был найден соответствующий уровень шума вблизи порога обнаружения стимула в шуме, при котором распознавание в шуме было лучше, чем без шума.

Как уже указывалось, эффект облегчения распознавания коротких стимулов в шуме изучался многими исследователями. В ряде работ (Baer et al., 1999; Plack, Oxenham, 1998) рассматривается роль компрессивной нелинейности колебаний базилярной мембраны (Robles, Ruggero, 2001), которая не может не участвовать в кодировании интенсивности коротких стимулов.

Известно, что улитка млекопитающих использует механизм положительной обратной связи для усиления стимулов низких уровней. Активный механизм усиливает колебания базилярной мембраны за счет обратной электромеханической трансдукции наружных волосковых клеток, который действует наряду с классической механоэлектрической трансдукцией внутренних волосковых клеток. В основе механизма лежит электроподвижность или пьезоэлектрические свойства наружных волосковых клеток. Как показывают исследования, этот механизм активен в широком диапазоне частот, вплоть до 100 кГц. На средних интенсивностях звуков механический

ответ базиллярной мембраны проявляет компрессивный рост за счет насыщения усиливающей обратной связи.

Выскажем некоторые соображения о месте компрессивной нелинейности колебаний базиллярной мембраны в рассматриваемой гипотезе.

Так, в работах (Радионова, 2001; Taub, Raab, 1969) с целью поиска причин ухудшения распознавания интенсивности стимулов в тишине были исследованы суммарные реакции нервного ответа улитки (N1), зарегистрированные при отведении от круглого окна у лабораторных животных. Такие реакции рассматриваются как показатель числа синхронно-возбужденных волокон слухового нерва базальной части улитки. Обнаружено, что линейный ход зависимости амплитуды реакции N1 от интенсивности стимула нарушается. Зависимость имеет перегиб в области интенсивностей, соответствующих областям аномального поведения порогов распознавания и компрессивной нелинейности колебаний базиллярной мембраны. Вероятно, нелинейность замедляет рост амплитуды реакции N1 и рост числа вовлекаемых в реакцию волокон. Если так, то во всем диапазоне средних интенсивностей, соответствующих области компрессивной нелинейности, возникающий Op-ответ будет ограничивать воспроизведение амплитудно-временной структуры стимулов и распознавание интенсивности. Собственно поэтому локальное ухудшение распознавания интенсивности стимулов в тишине обнаружено в достаточно широком диапазоне интенсивностей.

В заключении отметим, что эффект облегчения распознавания интенсивности коротких стимулов был также обнаружен в условиях прямой последовательной маскировки. Стимулы имели длительность стимулов 20–30 мс. Локальное ухудшение ДПИ тональных импульсов не появлялось в отсутствии маскера и возникало в присутствии маскера. В соответствии с рассматриваемой гипотезой локальное ухудшение является следствием появления синхронного Op-ответа, которое ведет к нарушению пропорциональности между уровнем стимула и числом возникающих спайков. Можно предположить, что в условиях прямой маскировки пропорциональность нарушается либо из-за повышения роли синхронного Op-ответа при его дублировании, либо из-за изменения динамических свойств кодирующих тональный импульс волокон.

Выводы

В проведенных психоакустических экспериментах, исследующих явление ухудшения распознавания интенсивности коротких стимулов в тишине и облегчения распознавания в шуме, были получены следующие новые результаты:

- (а) в основе ухудшения дифференциальных порогов распознавания интенсивности коротких, высокочастотных стимулов при средних интенсивностях лежат свойства слухового амплитудно-временного кодирования стимулов;
- (б) дифференциальные пороги распознавания интенсивности восстанавливаются, если стимул смешать с шумом, причем в области средних интенсивностей, как предсказано в модельных исследованиях, для каждой интенсивности стимула найден соответствующий уровень шума вблизи порога обнаружения стимула в шуме, при котором распознавание в шуме лучше, чем без шума.

Результаты психоакустических исследований соответствуют предсказаниям проведенных ранее модельных исследований (Римская-Корсакова, 2005а, б; Rimskaaya-Korsakova, 2005). Это подтверждает правильность гипотезы о том, что явление ухудшения распознавания интенсивности коротких стимулов в тишине и облегчения распознавания в шуме возникает на стыке двух способов кодирования интенсивности. Интенсивность коротких стимулов легко распознается испытуемыми, если вариации уровня стимулов пропорциональны вариациям суммарного числа спайков, возникших в волокнах слухового нерва. Поскольку число волокон кодирующих стимул фиксированно, то появление синхронного Оп-ответа при средних интенсивностях нарушает эту пропорциональность. Восстановить способность испытуемых к распознаванию стимулов, т. е. восстановить пропорциональность числа возникающих спайков уровню действующего стимула, можно, если десинхронизовать возникший Оп-ответ, например, смешав стимул с шумом. Рассмотренные особенности являются следствием периферического амплитудно-временного кодирования коротких, высокочастотных стимулов с ограниченной полосой частот.

Совпадение результатов модельных и психоакустических исследований позволяет сформулировать условия реализации принципа залпов или условия воспроизведения временного профиля коротких, высокочастотных импульсов с ограниченной полосой частот. А именно на периферии амплитудно-временная структура коротких стимулов воспроизводится наиболее точно, если уровень импульсов соответствует порогам реакции большинства кодирующих импульс волокон, независимо от того, предъявляется импульс в тишине или шуме.

ЛИТЕРАТУРА

Радионова Е. А. Опыты по физиологии слуха: нейрофизиологические исследования // СПб.: Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, 2003.

- Римская-Корсакова Л. К.* Повышение чувствительности сенсорного кодирования стимулов путем добавления шума // *Оптический журнал*. 2005а. Т. 72. № 5. С. 35–44.
- Римская-Корсакова Л. К.* Функции восстановления реакций волокон слухового нерва и периферическое кодирование коротких стимулов // *Сенсорные системы*. 2005б. Т. 19. № 4. С. 313–321.
- Телепнев В. Н.* Бинауральное демаскирование периодической компоненты в огибающей амплитудно-модулированного сигнала // *Акустический журнал*. 2004. Т. 50. № 3. С. 419–428.
- Трошенкова Т. О., Козлов А. Е., Телепнев В. Н., Римская-Корсакова Л. К.* Программно-аппаратный комплекс для проведения психоакустических измерений // *Психофизика сегодня*. М.: Изд-во ИП РАН. 2007. С. 120–123.
- Цвейкер Э., Фельдкеллер Р.* Ухо как приемник информации / Пер. с нем. под общ. ред. Б. Г. Белкина. М.: Связь, 1971.
- Carlyon R. P., Moore B. C.*, Intensity discrimination: a severe departure from Weber's law // *J. Acoust. Soc. Am.* 1984. V. 76. № 4. P. 1369–1376.
- Baer T., Moore B. C. J., Glasberg B. R.* Detection and intensity discrimination of Gaussian-shaped tone pulses as a function of duration // *J. Acoust. Soc. Am.* 1999. V. 106. № 4. P. 1907–1916.
- Florentine M., Buus S., Mason C. R.* Level discrimination as a function of level for tones from 0,25 to 16 kHz // *J. Acoust. Soc. Am.* 1987. V. 81. № 5. P. 1528–1541.
- Frisina R. D.* Subcortical neural coding mechanisms for auditory temporal processing // *Hear. Res.* 2001. V. 158. № 1. P. 1–27.
- Geisler C. D., Deng L., Greenberg S.* Thresholds for primary auditory fibers using statistically defined criteria // *J. Acoust. Soc. Am.* 1985. V. 77. P. 1102–1109.
- Kiang N., Watanabe T., Thomas E., Clark L.* Discharge patterns of single fibers in cat's auditory nerve // *Research Monograph 35*. Cambridge. MIT Press, 1965.
- Levitt H.* Transformed Up-Down Methods in Psychoacoustics // *J. Acoust. Soc. Am.* 1979. V. № 49. Pt. 2. P. 467–477.
- Lieberman M. C.* Auditory nerve responses from cats raised in a low-noise chamber // *J. Acoust. Soc. Am.* 1978. V. 63. P. 442–455.
- Nizami L., Reimer J. F., Jesteadt W.* The intensity-difference limen for Gaussian-enveloped stimuli as a function of level: tones and broadband noise // *J. Acoust. Soc. Am.* 2001. V. 110. № 5. Pt. 1. P. 2505–2515.
- Parham K., Zhao H. B., Kim D. O.* Responses of auditory nerve fibers of the unanesthetized decerebrate cat to click pairs as simulated echoes // *J. Neurophysiol.* 1996. V. 76. P. 17–29.
- Plack C. J., Viemeister N. F.*, The effects of notched noise on intensity discrimination under forward masking // *J. Acoust. Soc. Am.* 1992. V. 92. № 4. P. 1902–1910.
- Plack C. J., Carlyon R. P., Viemeister N. F.*, Intensity discrimination under forward and backward masking: role of referential coding // *J. Acoust. Soc. Am.* 1995. V. 97. № 2. P. 1141–1149.

- Plack C. J., Oxenham A. J.*, Basilar membrane nonlinearity and growth of forward masking // *J. Acoust. Soc. Am.* 1998. V. 103. № 3. P. 1598–1608.
- Raab D. H., Taub H. B.* Click-intensity discrimination with and without a background masking noise // *J. Acoust. Soc. Am.* 1969. 46. 4B. P. 965–968.
- Rimskaya-Korsakova L. K.* Noise improves peripheral coding of short stimuli // *Auditory Mechanisms: Processes and Models. Proceedings of the Ninth Intern. Symposium / Ed. Nuttall A. L.* 2006. World Scientific. London. P. 103–104.
- Robles L., Ruggero M. A.* Mechanics of the mammalian cochlea // *Physiol. Rev.* 2001. V. 81. P. 1305–1352.
- Schijndel N. H. van, Houtgast T., Festen J. M.* Intensity discrimination of Gaussian-windowed tones: indication for the shape of the auditory frequency-time window // *J. Acoust. Soc. Am.* 1999. V. 105. № 6. P. 3425–3435.
- Stellmack M. F., Viemeister N. F.*, Observer weighting of monaural level information in a pair of tone pulses // *J. Acoust. Soc. Am.* 2000. V. 107. № 6. P. 3382–3393.
- Taub H. B., Raab D. H.* Fluctuations of N1 amplitude in relation to click-intensity discrimination. // *J. Acoust. Soc. Am.* 1969. V. 46. 4B. P. 969–978.
- Zeng F.-G., Turner C. W., Relkin E. M.*, Recovery from prior stimulation II: Effects upon intensity discrimination // *Hearing Res.* 1991. V. 55. P. 223–230.
- Wever E. G.* Theory of hearing. N. Y.: Dover Press, 1949.
- Winter I. M., Robertson D., Yates G. K.* Diversity of characteristic frequency rate-intensity functions in guinea pig auditory nerve fibers // *Hear. Res.* 1990. V. 45. 191–202.

ГЛАВА 24
ЛИЧНОСТНЫЕ ФАКТОРЫ КОНТРОЛЯ КРИТЕРИЕВ
ОПТИМАЛЬНОСТИ РЕШЕНИЯ ПСИХОФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
ЧЕЛОВЕКОМ-НАБЛЮДАТЕЛЕМ

Целью исследования является экспериментальная проверка авторской модели дифференциально-личностного контроля оптимальности решения психофизических задач человеком-наблюдателем как активным целостным субъектом. Предполагается, что предпочтение конкретного критерия оптимальности решения определяется не только уровнем обученности субъекта, но и особенностями его личности.

Концептуальный аппарат исследования составили:

- 1) представления о категории задачи как основной системной единице человеческой деятельности и о структуре сенсорно-перцептивного процесса, отраженные в «модели идеального адаптивного наблюдателя» Ю. М. Забродина (1977, 1981 и др.);
- 2) современный («субъектный» и дифференциальный) психофизический подход к человеку-наблюдателю как к активному целостному субъекту, решающему целостную сенсорную задачу целенаправленно, но индивидуально-своеобразно и субоптимально (Бардин, Скотникова, Фришман, 1988);
- 3) понятия удовлетворительного и оптимального решения, отраженные в общей теории систем (Mesarovic etc., 1973, Mesarovic, Takahara, 1975, Simon, 1969);
- 4) теоретические модели, описывающие личностные предпосылки динамики процесса принятия решения (Kuhl, 1983, Goldsmith, Sahlin, 1983, MacDonald, 1970 и др.).

Модель связывает воедино такие личностные тенденции, как отношение к неопределенности и ориентация на действие и задачу или на состояние, основные типы субъективных задач, решаемых человеком, и конкретные виды критериев оптимальности решения

наблюдателя. Было предложено (Голубинов, Забродин, 1990; Голубинов, 1991; Забродин, Голубинов, 1991) сопоставление критериев оптимальности решения наблюдателя I и II рода, описанных Ю. М. Забродиным (1977, 1981), и двух классов задач, выделяемых в общей теории систем (Mesarovic et al., 1973, Mesarovic, Takahara, 1975, Simon, 1969). Выбор субъектом критерия I рода (минимальной субъективной неопределенности) или критерия II рода (максимальной устойчивости или эффективности) является результатом субъективного отражения задачи и трансформации объективно заданной задачи в субъективную, внутренне-принятую задачу: либо поиска удовлетворительных решений, либо собственно оптимизации. Отражение субъектом деятельности объективно-заданной задачи – промежуточное звено, опосредствующее связь критериев оптимальности с особенностями личности субъекта (рисунок 1). С одной стороны, субъективный образ и личностный смысл задачи, уровень включенности в нее субъекта определяют меру адекватности психического отражения, обуславливают тип критерия оптимальности, используемого наблюдателем. С другой стороны, в особенностях усвоения задачи, ее репрезентации и трансформации при принятии решения наглядно проявляются специфика личности, мотивации, системы установок и ценностей субъекта.



Рис. 1. Модель личностного контроля критерия оптимальности решения

Базой для экспериментальной проверки гипотезы, теоретической модели и ее следствий была выбрана операторская деятельность, сопряженная с решением различных сенсорных и сенсомоторных задач в динамических условиях действия множественных возмущений и различных несенсорных факторов: деятельность пилота вертолета, связанная с пространственной ориентировкой в процессе визуального полета.

В условиях лабораторного эксперимента, основанного на модификации психофизических методов «да – нет» и «средней ошибки», моделировались реальные сенсорные задачи, решаемые пилотом вертолета в полете с целью пространственной ориентировки. Каждая из методик моделировала одну из ряда основных сенсорно-перцептивных задач пространственной ориентировки пилота: обнаружение наземного объекта с борта летательного аппарата, определение местонахождения и направления движения других воздушных судов во впереди себя расположенном пространстве, контроль положения и движения воздушного судна (по курсу, крену, тангажу и высоте) и вывод воздушного судна в заданное пространственное положение или на заданный курс.

Задачи исследования состояли, во-первых, в том, чтобы выявить взаимосвязи между индивидуально-типологическими, личностными особенностями испытуемых, субъективным отражением решаемых ими задач, основными классами критериев оптимальности решения и возможными вариациями и взаимопереходами этих критериев при изменении неопределенности ситуации и сложности решения задачи. Во-вторых, требовалось проанализировать зависимости между индивидуальными особенностями динамики процесса принятия решения в психофизическом эксперименте и показателями эффективности и качества формирования у испытуемых – курсантов летного училища – практических навыков пилотирования и пространственной ориентации в полете.

Экспериментальная проверка гипотезы, связывающей личностные особенности наблюдателя, субъективный образ сенсорной задачи, критерии ее решения и летные способности испытуемых потребовали диагностики всех названных переменных (Голубинов, 1993, 1994, 1996). Ряд личностных методик был предварительно переведен, адаптирован и валидизирован. Во всех сериях экспериментов участвовало 50 испытуемых, проходивших соответствующую психодиагностику по выбранным шкалам и затем принимавших участие в летной практике в ходе обучения в училище.

Данные экспериментального исследования подтвердили и уточнили теоретическую модель, описывающую дифференциально-личностный характер перехода от задачи, объективно заданной, внешней по отношению к субъекту, к конкретному субъективному критерию оптимальности решения. Были получены новые данные о психологических механизмах и дифференциальной динамике сенсорно-перцептивных процессов. Подтвердилась роль личностных особенностей человека-наблюдателя в выборе и контроле им критериев оценки качества решения. Субъективно-личностные

критерии наблюдателя определяются, во-первых, его индивидуальными особенностями в отражении объективно заданной задачи, связанными с ориентацией на действие или на состояние, определяющей специфику функции контроля за действием, и, во-вторых, толерантностью к неопределенности, обеспечивающей инициативу, гибкость саморегуляции и вариативность процесса принятия решения, адекватную требованиям и условиям задачи.

Первая экспериментальная процедура была построена по методу «да-нет» с изменяющейся в процессе опыта вероятностной структурой стимульной последовательности (Голубинов, 1991; Goloubinov, 1996). Методика моделировала задачу визуального поиска – обнаружения наземного объекта с борта летательного аппарата. В инженерно-психологическом проектировании деятельности летчика прогноз индивидуальных характеристик визуального поиска необходим ввиду дефицита времени, высокой «стоимости» временных задержек и серьезных последствий пропусков и ошибочных обнаружений (ложных тревог).

В качестве стимулов применялись двухградационные черно-белые изображения в виде статистически однородных структур, хорошо зарекомендовавшие себя во многих психофизических исследованиях. Задача испытуемого заключалась в том, чтобы обнаружить, имеется ли в поле монитора квадрат, образуемый символами, расположенными с другой частотой по сравнению с фоном. Каждое «шумовое» изображение (пустая проба) образовывалось статистически равномерным распределением по полю экрана прямоугольных белых и черных элементов. В сигнальной пробе испытуемому предъявлялось зашумленное изображение квадрата, причем шум имел мультипликативную, а не аддитивную природу: в случайном месте экрана белые элементы располагались с меньшей частотой по сравнению с фоном (остальной площадью рабочего поля), образуя тем самым квадрат, более темный, чем фон, и являющийся для испытуемого сигналом. Квадрат не имел четких очертаний, поскольку граница между ним и фоном возникала из-за разницы в плотности расположения белых элементов. Частота белых элементов фона оставалась постоянной. Частота белых элементов внутри квадрата в сигнальной пробе подбиралась для каждого испытуемого индивидуально в ходе специальной предварительной серии с тем, чтобы соотношение частот элементов фона и квадрата образовывало стимул, по интенсивности близкий индивидуальному порогу чувствительности. В качестве варьируемого несенсорного фактора, позволяющего стимулировать динамику показателей эффективности обнаружения и получать несколько точек для построения кри-

вой РХН, было выбрано случайное (от одного экспериментального блока к другому) изменение в ходе опыта априорной вероятности предъявления сигнала.

Анализ матрицы полученных интеркорреляций результатов эксперимента с показателями личностной диагностики испытуемых (Голубинов, 1991) выявил, что в условиях меняющейся вероятности появления сигнала различные варианты динамики критерия, включая его стабилизацию по разным параметрам, связаны с определенными индивидуально-типологическими и личностными особенностями испытуемых. Проекция основных критериев оптимальности решения психофизической задачи в пространство личностных свойств наблюдателя позволила построить простую двухфакторную ортогональную структуру – своеобразную личностную «карту» критериев оценки качества решения (таблица 1, рисунок 2).

Таблица 1
ДВА ВАРИАНТА (А И В) ФАКТОРНОЙ СТРУКТУРЫ

№	Переменные	A1	A2	B1	B2
1.	стремление к переменам	.83***	-.15	.83***	-.16
2.	склонность к риску	.78***	.11	.81***	.07
3.	ригидность	-.68***	.02	-.73***	.06
4.	экстраверсия	.66***	-.01	.65***	-.06
5.	избегание неопределенности	-.57***	-.08	-.65***	-.10
6.	избегание активации	-.55***	.04	-.60***	.02
7.	толерантность к неопределенности	.53***	.10	.63***	.12
8.	нейроизм	.20	-.42**	.07	-.49**
9.	ориентация на задачу (или на себя)			-.07	.50**
10.	сила возбуждения	-.08	.64***	-.03	.73***
11.	ориентация на действие после неудачи	-.04	.70***	.08	.72***
12.	ориентация на действие после успеха	.06	.70***	.05	.72***
13.	ориентация на действие в перспективе	.03	.70***	.09	.75***
14.	включенность в задачу			-.14	.49**
15.	$\Delta\beta$	-.26	-.73***	-.24	-.55***
16.	$\Delta\beta'$	-.27	-.70***		
17.	$|\Delta\beta|$	.54***	.08	.42**	.04
18.	$|\Delta\beta'|$	.46**	.12		
19.	$|\Delta P(Y|a)|$	.20	.37**		
20.	$|\Delta P(Y)|$	.43**	.57***	.39*	.46**
21.	$|\Delta P(C)|$	-.41**	-.39*		
22.	$\Delta P(C)_{0.5}$	.41**	.35*	.42**	.40*
	Объясняющая способность:	28.4 %	15.7 %	25.4 %	18.4 %

Note: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Фактор 1 (A1, B1) – Ориентация на задачу

(«-» ориентация на состояние – ориентация на действие «+»)

Фактор 2 (A2, B2) – Отношение к неопределенности

(«-» избегание неопределенности – толерантность к неопределенности «+»)

Два полученных фактора, первый – субъективное отношение к неопределенности, второй – отношение к объективно поставленной задаче, или личностная включенность в задачу, соответствуют двум аспектам активности личности: вариационному и эргическому (Абульханова-Славская, 1985; Русалов, 1979).

Первому фактору, интерпретированному как «избегание неопределенности – толерантность к неопределенности» (MacDonald, 1970) и определяющему степень инициативы и варибельности способов деятельности, стратегий и альтернатив принятия решения, отношение к разнообразию, новизне и неопределенности в целом, принадлежат показатели устойчивости – динамичности критерия решения, полученные в ходе эксперимента.

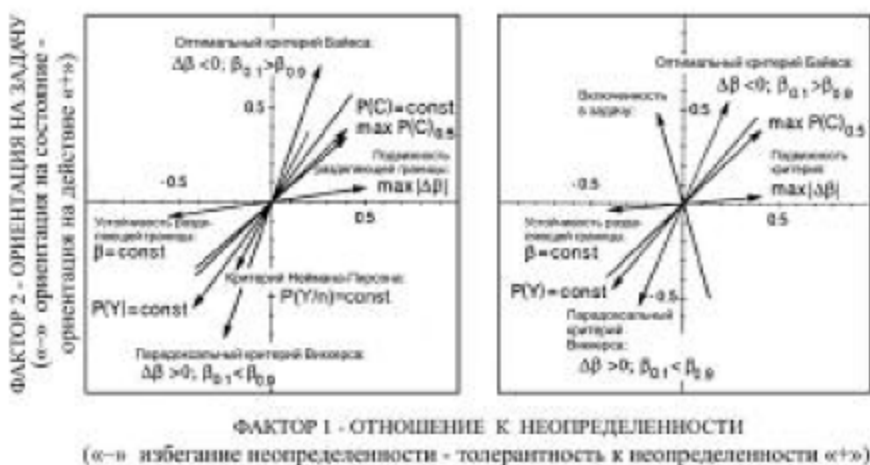


Рис. 2. Проекция психофизических данных в двухфакторную личностную структуру (2 варианта: А и В)

Второй фактор, «ориентация на субъективное состояние – ориентация на действие и задачу» (Kuhl, 1983), связан с уровнем потребности в деятельности, с вовлеченностью в задачу, настойчивостью, ответственностью в исполнении. Этому фактору соответствуют показатели направления смещения критерия по сенсорной оси.

Положительный полюс первого фактора, толерантность к неопределенности, не сопровождающаяся хорошо развитым контролем за действием и воплощением намерения (проявление инициативы без готовности к ответственной реализации замысла), выражена в активных перемещениях критерия, направленных на оптимизацию процесса решения. В меняющихся условиях обнаружения это является необходимым, хотя и недостаточным условием подлинной

эффективности решения задачи: только некоторым испытуемым этого типа удастся стабилизировать исполнение по параметру вероятности правильных решений (вариант критерия II рода, реализуемого по принципу оптимальности).

Отрицательный полюс фактора, избегание неопределенности, определяет отказ от инициативы и ригидную стабилизацию положения критерия, не соответствующую изменяющейся вероятностной структуре ситуации обнаружения (псевдооптимальный вариант критерия II рода, реализуемого по принципу удовлетворительности, см. рисунок 3а).

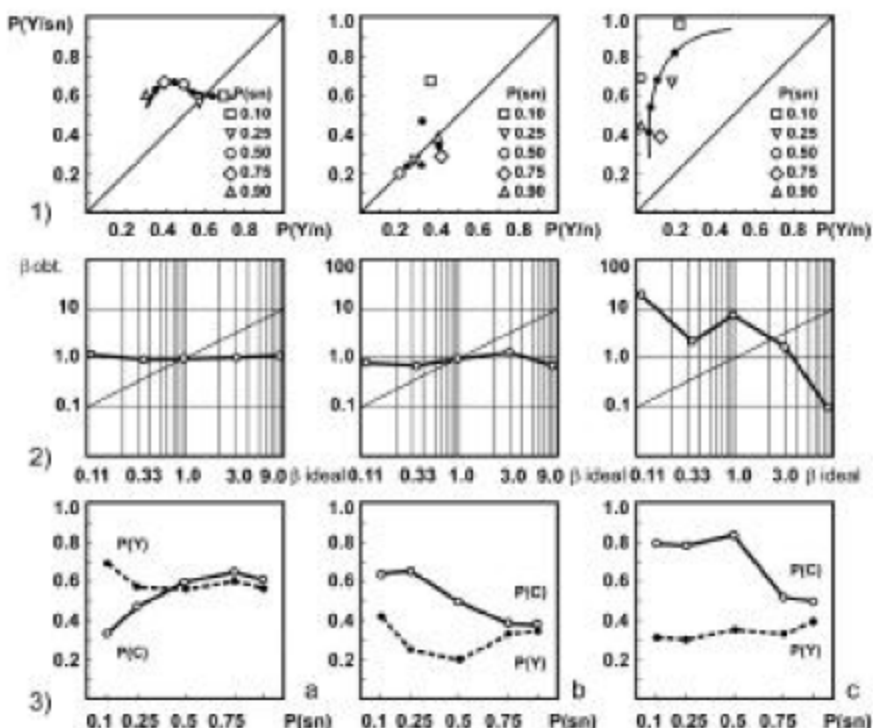
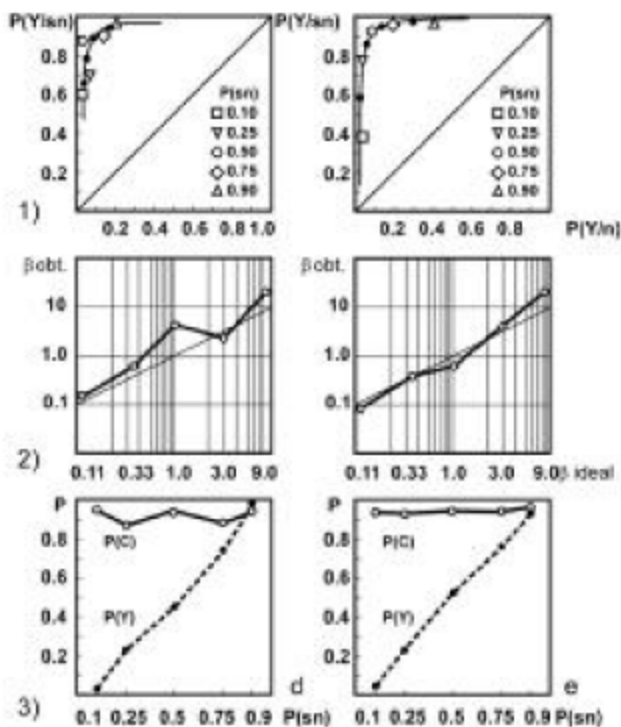


Рис. 3. «Удовлетворительные» типы личного контроля критерия в задаче обнаружения сигнала с изменяющейся априорной вероятностью

- СТАГНАНТНЫЙ КРИТЕРИЙ (ригидная стабилизация разделяющей границы, не соответствующая изменяющейся вероятности сигнала) у наблюдателя, интровертированного и избегающего неопределенности.
- СТАГНАНТНЫЙ КРИТЕРИЙ, сходный со случайным правилом решения, у наблюдателя в высокой степени нетерпимого к не-

определенности, ориентированного на состояние, тревожного, невротичного, избегающего активации и новых ситуаций. Неудачный курсант: «В ходе летного обучения он был сильно напряжен и легко утомляем. Движения импульсивны, порывисты, плохо скоординированы. Освоение техники пилотирования и особенно новых типов полетов было затруднено. В сложных ситуациях терялся, позволял поспешные действия».

- с) ПАРАДОКСАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ (снижение строгости критерия в ответ на уменьшение априорной вероятности) наблюдателя с высокими уровнями нейротизма, ориентации на себя и субъективное состояние. Наблюдатель получил минимальную оценку «летной способности». Темп освоения программы полетов был очень низок. «Программа полетов и особенно новые типовые ситуации осваивались с большим трудом. Чрезмерно напряжен. Сильной мотивации к обучению полетам не показано. В сложной ситуации этот курсант легко теряет самообладание».



- 1) РХН в осях $P(Y/n)$ и $P(Y/sn)$
- 2) Сравнение величин β_{obt} , полученных в экспериментальных сессиях и идеальных оценок β_{ideal} , вычислявшихся как соотношение $P(n)/P(sn)$ – в соответствии с гипотезой «идеального наблюдателя».
- 3) Вероятности правильных решений $P(C)$ и ответа «да, сигнал есть» $P(Y)$ в зависимости от априорной вероятности сигнала $P(sn)$

Рис. 4. «Оптимальные» типы личного контроля критерия в задаче обнаружения сигнала с изменяющейся априорной вероятностью

- d) **ОПТИМАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ**, продемонстрированный наблюдателем, эмоционально устойчивым, включенным в задачу, ориентированным на действие. Как курсант-наблюдатель получил высокую оценку «летной способности»: «Он любит летать, летает уверенно. Он правильно действует и сохраняет хладнокровие в течение обучения полетам».
- e) **КРИТЕРИЙ ПОДЛИННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ** (оптимальное повышение строгости критерия при уменьшении априорной вероятности; не только устойчивый, но и высокий уровень результатов: стабилизация правильных ответов, максимальная эффективность решения) у наблюдателя, ориентированного на действие, толерантного к неопределенности, склонного к изменениям, предпочитающего риск и включенного в задачу. В ходе летной практики получил максимальную оценку «летной способности», один из наиболее быстро обучающихся пилотированию: «Способный курсант, который любит летать, может летать уверенно, без ошибок, легко переносит нагрузки».

Положительный полюс второго фактора, ориентация на действие и задачу, определяет включенность субъекта в решаемую задачу, заставляет его более внимательно и ответственно подходить к процессу принятия решения и обеспечивает оптимальную динамику критерия решения (разделяющей границы на оси сенсорных впечатлений), соответствующую критерию Байеса (см. рисунок 4d). Налицо частный случай критерия I рода (повышение строгости критерия в ответ на увеличение неопределенности, связанное с уменьшением априорной вероятности появления сигнала).

Отрицательный полюс второго фактора, ориентация на состояние, является предпосылкой отчуждения наблюдателя от решаемой задачи, вызывая альтернативный вариант динамики критерия в ответ на увеличение неопределенности («парадоксальный» критерий Д. Виккерса (Vickers, Leary, 1983): уменьшение строгости критерия при снижении априорной вероятности сигнала, что в данном случае является не лабораторным артефактом и не результатом специального обучения наблюдателя или выработки у него установки, уровня адаптации, но закономерным проявлением индивидуального адаптивного и компенсаторного варианта личностного контроля критерия – реализацией критерия I рода в пределах достаточности и удовлетворительности). Такие адаптивные, избегающие риска и ориентированные на состояние наблюдатели (не столько в перспективе, сколько после исхода, удачного или неудачного, первоначального действия или решения) работают по принципу удовлетворительности, реагируя на повышение неопределенности

(снижение вероятности сигнала) как на неудачу, стремясь облегчить себе выполнение задачи и пытаясь «поймать» то стимульное событие, вероятность которого падает, т. е. сигнал, и уменьшая строгость критерия решения (см. рисунок 3с). К этому же полюсу фактора относится и фиксация вероятности ложных тревог (критерий Неймана–Пирсона – низшая ступень критерия I рода, свойственная необученным или, как мы показали, адаптивным и не включенным в задачу наблюдателям).

Сочетание ориентации на состояние и избегания неопределенности (отказ и от ответственности, и от инициативы) связан с малоэффективной и близкой рандомизированному (случайному) правилу решения адаптивной фиксацией пропорции положительных и отрицательных ответов (см. рисунок 3b). Напротив, гармоничное **сочетание** инициативы и ответственности (*толерантности к неопределенности и высокого уровня контроля за действием*) обеспечивает подлинную включенность в задачу и настоящую оптимальность решения (см. рисунок 4e): достижение результата не только устойчивого (стабилизация вероятности правильных ответов), но и высокого (максимальная эффективность решения – «наблюдатель Зигерта–Котельникова»). И то, и другое может рассматриваться как высшие ступени критерия II рода – максимальной устойчивости и эффективности. В результате в выделенном двухфакторном личностном пространстве мы получили корреляционный кластер – векторный пучок, отражающий все рассмотренные варианты достижения наблюдателем субъективной оптимальности и образующий континуум критериев оценки качества решения. Его четко выраженная направляющая – диагональный по отношению к взаимоортогональным осям ориентации на задачу и толерантности к неопределенности вектор максимальной эффективности решения, полюса которого мы можем обозначить как «удовлетворительность» и «оптимальность».

Полярная точка «удовлетворительности» – фиксация вероятности положительных ответов, к которой примыкают расположенные в этом же квадранте «избегание неопределенности – ориентация на состояние» критерии Веккера и Неймана–Пирсона, а также жесткая консервативная стабилизация разделяющей границы в условиях меняющейся психофизической ситуации.

Полюс «оптимальности» – это критерий Зигерта–Котельникова, т. е. максимизация эффективности решения по параметру правильных ответов, а также критерий Байеса и фиксация вероятности правильных решений, проецирующиеся в квадрант «толерантность к неопределенности – ориентация на задачу».

Построенная модель личностного контроля критерия оптимальности решения психофизической задачи, во-первых, позволила найти в системе критериев наблюдателя место для некоторых нетрадиционных для теории обнаружения сигнала критериев решения. Во-вторых, подтвердилась роль смены задач в переходе от одного класса критериев к другому. В-третьих, модель дала основание для распространения области действия понятий «критерий I и критерий II рода» за пределы не только конкретной экспериментальной психофизической процедуры с меняющейся вероятностной структурой стимульной последовательности, но и за рамки только лишь сенсорно-перцептивных процессов на другие, более высокие уровни принятия решения. Критерии оптимальности работы наблюдателя – сложные многомерные структуры, анализ которых при рассмотрении реальных сенсорных задач требует их соотнесения как с конкретными условиями и требованиями задачи, так и с проявлениями в процессе принятия решения субъективного фактора: мотивационно-ценностной сферы и активности личности наблюдателя. Критерии I и II рода (минимальной неопределенности и максимальной устойчивости) должны рассматриваться не как две полярные точки на одномерной оси, описывающей множество различных психофизических критериев оптимальности решения, но как, по крайней мере, две ортогональные оси субъективного оценочного пространства. Оси, задающие весь континуум возможных критериев оценки качества решения, включая как критерии собственно оптимальности, так и критерии удовлетворительности и достаточности, выбираемые наблюдателем в зависимости от того, какую субъективно принятую задачу он решает: задачу оптимизации или поиска удовлетворительных решений.

Результаты, сопоставимые с результатами первого эксперимента, были получены при решении теми же испытуемыми других психофизических задач: *задачи обнаружения сигнала в ситуации его случайно меняющейся интенсивности* (Голубинов, 1996; Goloubinov, 1997), *задачи обнаружения сигнала в условиях его последовательно увеличивающейся интенсивности* в экспериментальных процедурах по методу «да–нет» (Голубинов, 1996; Goloubinov, 1999) и *задачи подравнивания стимулов* в эксперименте по методу средней ошибки (Голубинов, 1995; Goloubinov, 2000).

Процедура обнаружения сигнала в ситуации его меняющейся интенсивности, в основу которой была положена модифицированная методика моделирования подлинной ситуации расхождения в воздушном пространстве двух летательных аппаратов (Gai, Curry, 1978), моделировала задачу оценки курса движения воздушного судна.

Стимульное изображение, предъявляемое на экране монитора, включало горизонтальный отрезок в нижней части экрана и расположенную над ним точку. Отрезок символизировал линию горизонта, ограниченную остеклением кабины, точка – положение цели (ориентира, встречного воздушного судна). Линии курса соответствовал воображаемый перпендикуляр, опущенный в центр отрезка и совпадающий с осью симметрии экрана. Испытуемому предъявлялся набор из 10 стимульных изображений, отличающихся положением точки относительно горизонтального отрезка и центрального перпендикуляра. В каждой пробе слева или справа от центрального перпендикуляра на разном расстоянии от него и от горизонтального отрезка предъявлялась одна из 10 точек (5 из них слева от центра отрезка, 5 справа). Задача испытуемого состояла в обнаружении правого или левого отклонения точки от воображаемого центрального перпендикуляра к отрезку. Поскольку определение отклонения от невидимого центрального перпендикуляра легче, когда точка более удалена от него и ближе к горизонтальному основанию, то мы имели пять уровней сложности, или, по терминологии теории обнаружения сигнала, пять степеней интенсивности сигнала. Обработка результатов соответствовала методу «да–нет». Четыре варианта исхода решения, образуемые числом сочетаний двух типов ответа наблюдателя (ответ «Сигнал слева от центра» и «Сигнал справа») и двух, левого и правого, случаев положения сигнала относительно центрального перпендикуляра, были соотнесены с принятыми в методике «да–нет» определениями исходов решения.

В методике использовались два варьируемых параметра ситуации. Это, во-первых, изменяющаяся от пробы к пробе интенсивность сигнала и, во-вторых, разная структура стимульной последовательности: случайная, при которой стимулы разной интенсивности предъявляются в случайном порядке с тем, чтобы минимизировать любой эффект последовательности реакций (серия 1) и квазислучайная, при которой в общую случайную последовательность стимулов разной интенсивности в случайных местах и неожиданно для испытуемого «встроены» блоки стимулов с последовательным увеличением от пробы к пробе интенсивности сигнала (серия 2) – блоки из пяти стимулов с определенным, левым или правым, отклонением точки от центрального перпендикуляра и последовательным удалением точки от центра и приближением к горизонтальному отрезку.

Анализ результатов эксперимента показал, что во всех случаях фактор отношения к неопределенности и фактор ориентации на действие и задачу или на состояние определяли характер индивидуального включения в решаемую задачу и достижения

наблюдателем субъективной оптимальности. В задачах обнаружения у лиц, ориентированных на задачу и действие, наблюдается адекватное реагирование на изменение сенсорных (интенсивность сигнала) и несенсорных (фактор последовательности) характеристик и оптимальное повышение вероятности правильных ответов. Напротив, отчуждение от задачи и ригидная стационарность исполнения при увеличении интенсивности сигнала свойственно тем, кто ориентирован на состояние, избегает риска, активации и неопределенности в целом.

В задаче обнаружения сигнала с интенсивностью, изменяющейся от пробы к пробе в случайном порядке (таблица 2), зависимость динамики процесса принятия решения от индивидуальных особенностей наблюдателей выражалась в том, что наблюдатели, в личностном плане ориентированные на задачу и характеризующиеся высоким уровнем контроля за действием (особенно после неудачи), сильные по возбудительному процессу, выносливые и работоспособные (не-реактивные), ответственно и заинтересованно подходят к решению данной конкретной психофизической задачи, включаются в нее (судя по субъективной оценке задачи после ее решения), работают по принципу оптимальности и адекватно реагируют на изменение сенсорной информации (эргический аспект активности). Показанное ими значительное повышение вероятности правильных ответов при увеличении интенсивности сигнала свидетельствует о том, что саморегуляция процесса принятия решения направлена на оптимизацию деятельности по обнаружению и различению слабых и слабо различающихся сигналов, обеспечивая оптимальную стратегию (рисунок 5b).

Толерантность к неопределенности, активации, переменам также способствует достижению оптимальности решения (рисунок 5a). Наибольшую оптимальность демонстрируют наблюдатели, одновременно ориентированные на действие, включенные в задачу и толерантные к неопределенности. Авторы методики, послужившей прототипом для нашей экспериментальной процедуры (Gai, Curry, 1978), указывают, что при случайном порядке предъявления сигналов динамика РХН идеального наблюдателя как раз должна быть наиболее близка так называемой побочной диагонали, описываемой уравнением $P(Y/sn) = 1 - P(Y/n)$: вероятность правильного обнаружения монотонно и почти линейно связана с вероятностью ложных тревог. Что мы и видим на рисунке 5c.

Наблюдатели, реактивные, ориентированные на ситуацию и субъективное состояние, не проявляют, по данным самоотчета, заинтересованности в решении и включенности в задачу. Они

Таблица 2

ФАКТОРНАЯ СТРУКТУРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОБНАРУЖЕНИЮ СИГНАЛА, В СЛУЧАЙНОМ ПОРЯДКЕ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ

№	Переменные	Фактор 1	Фактор 2
1.	стремление к переменам	0.78***	- 0.15
2.	склонность к риску	0.72***	0.04
3.	экстраверсия	0.67***	0.08
4.	ригидность	- 0.66***	- 0.10
5.	избегание активации	- 0.65***	- 0.01
6.	избегание неопределенности	- 0.64***	- 0.15
7.	толерантность к неопределенности	0.55***	0.25
8.	ориентация на задачу (или на себя)	0.03	0.40**
9.	ориентация на действие в перспективе	0.13	0.59***
10.	нейротизм	0.03	- 0.61***
11.	сила возбуждения	0.07	0.72***
12.	ориентация на действие после неудачи	0.05	0.72***
13.	ориентация на действие после успеха	0.06	0.77***
14.	включенность в задачу	- 0.26	0.37*
15.	$P(Y/sn) \subset [0.18, 0.88]$	- 0.57***	0.14
16.	$P(Y/n) \subset [0.16, 0.70]$	- 0.56***	0.32*
17.	$\Delta P(Y/sn) \subset [0.00, 0.54]$	0.53***	0.10
18.	$\Delta P(Y/n) \subset [-0.56, -0.02]$	0.49**	- 0.63***
19.	$\Delta T(Y/sn) \subset [-0.24, 0.59]$	0.48**	0.12
20.	$\Delta T(N/n) \subset [-0.24, 0.59]$	- 0.54***	0.54***
21.	$\Delta P(C) \subset [0.11, 0.42]$	0.04	0.52***
Объясняющая способность:		24.6 %	19.1 %

Note: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

не обращают внимания на изменение собственных характеристик сигнала, связанных с увеличением его интенсивности, о чем свидетельствует стационарность (или только незначительное повышение) вероятности правильных ответов.

Такие испытуемые отчуждены от решаемой задачи, внутренне не мотивированны на ее решение и оставляют без внимания объективное снижение неопределенности психофизической ситуации, работая по принципу удовлетворительности и используя критерий типа Неймана-Пирсона (рисунок 5e), но чаще всего в его наименее оптимальном варианте: фиксация вероятности одного типа ошибочных ответов («ложных тревог») без одновременного повышения вероятности правильных ответов другого типа («правильных обнаружений»).

Наблюдатели, избегающие неопределенности (рисунок 5d), в стимульных пробах с наименьшей интенсивностью сигнала стараются

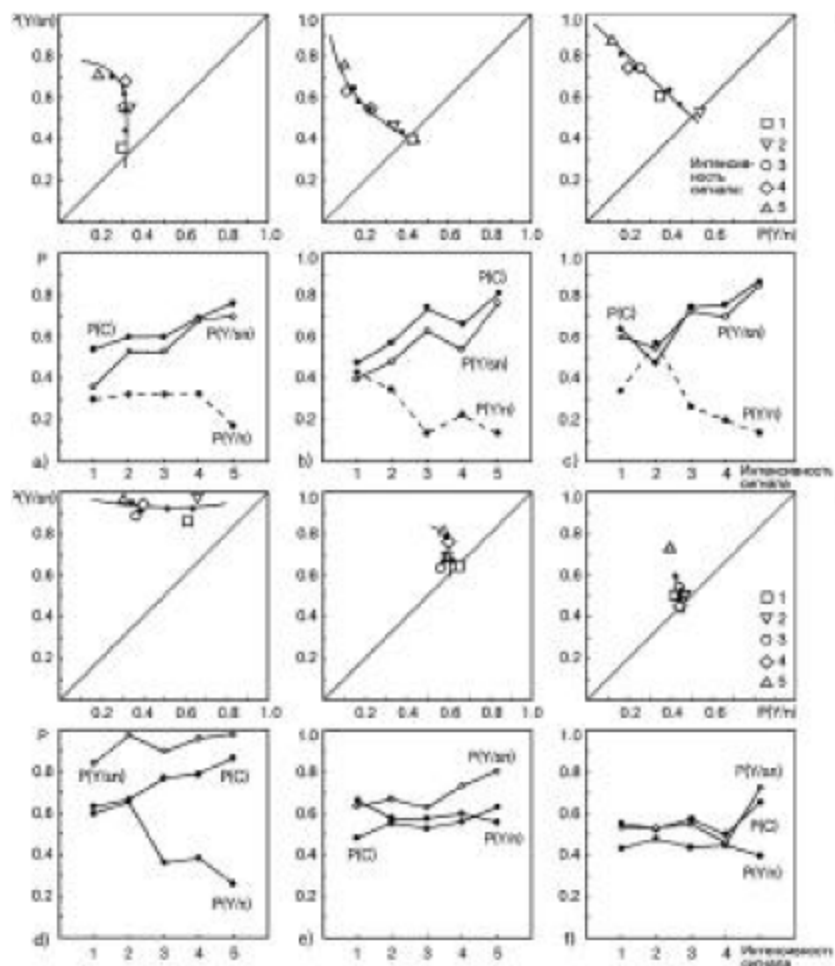


Рис. 5. Различные типы личностного контроля критерия в задаче обнаружения сигнала, в случайном порядке изменяющегося по интенсивности

- экстравертированный и склонный к риску наблюдатель, толерантный к неопределенности, к новым ситуациям, активации;
- субъект, ориентированный на задачу и действие и с высокой силой возбуждения;
- толерантный к неопределенности и активации, склонный к риску и переменам экстраверт, ориентированный на задачу и действие (после успеха);
- ригидный интроверт, избегающий неопределенности, риска, перемен и активации;
- ориентированный на состояние и реактивный испытуемый;
- ориентированный на себя и на состояние, реактивный, избегающий неопределенности и активации испытуемый.

облегчить себе работу, используя в качестве средства устранения или уменьшения неопределенности асимметричную локализацию критерия решения на оси сенсорных впечатлений (вариационный аспект активности). При увеличении интенсивности сигнала они работают по критерию Неймана–Пирсона: фиксируется вероятность правильных ответов одного типа («правильных обнаружений»), уже достаточно высокая из-за асимметричного положения критерия в условиях минимальной интенсивности сигнала, и уменьшается вероятность «ложных тревог». Решение разворачивается по принципу удовлетворительности: в ситуации обнаружения, наиболее неопределенной из всего диапазона стимульных проб, для того чтобы обеспечить допустимый уровень субъективной неопределенности, критерий сдвигается в сторону предпочтения ответов определенного типа, а затем по мере облегчения процесса обнаружения ответы становятся более дифференцированными и адекватными сенсорной информации.

Сочетание ориентации на состояние, отчуждения от задачи и избегания неопределенности – предпосылка выбора наименее оптимального, сходного с рандомизированным (случайным) правилом решения: правильные обнаружения и ложные тревоги в ряде случаев почти равновероятны (рисунок 5f).

Во второй серии эксперимента при последовательном увеличении интенсивности сигнала импульсивные испытуемые, склонные к риску, слабые по тормозному процессу, ориентированные на действие (после успеха) и включенные в решение данной конкретной задачи, используют более либеральный критерий, чем в более неопределенных условиях первой серии со случайно меняющейся сигнальной интенсивностью (рисунок 6d). Испытуемые и более эффективны, и более постоянны в своих решениях. Такая динамика критерия соответствует модели «идеального наблюдателя» теории обнаружения сигнала: понижение индекса критерия в ответ на уменьшение неопределенности задачи и наоборот.

Напротив, испытуемые с сильным тормозным процессом, неимпульсивные, избегающие риск, ориентированные на состояние и незаинтересованные в решении задачи, переходя ко второй серии с менее неопределенными условиями, повышают строгость критерия (рисунок 6с, е, f). По сути, это означает, что в ситуации большей неопределенности (в первой экспериментальной серии со случайными изменениями интенсивности сигнала) такие испытуемые в силу их отчужденности от задачи и деформации функции контроля за действием снижают «строгость» критерия. Вопреки гипотезе «идеального наблюдателя» их более либеральный в более

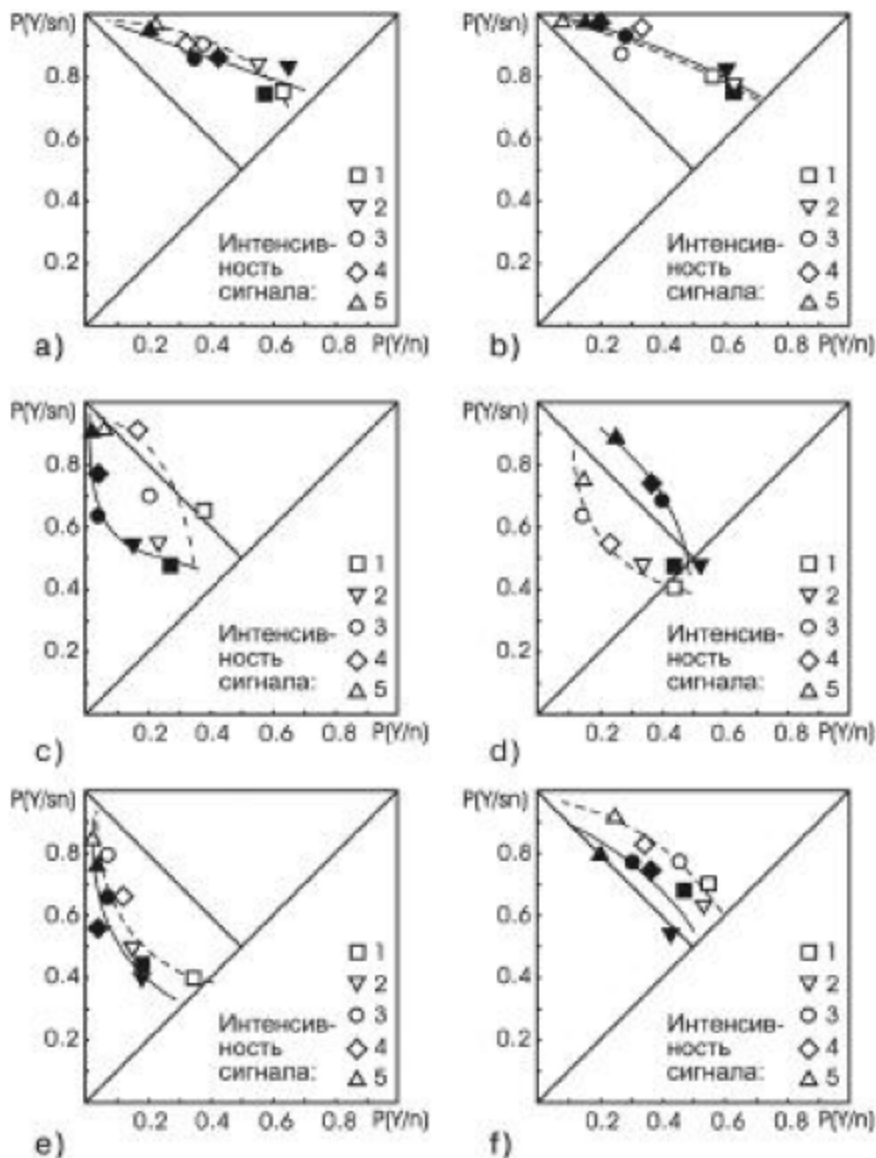


Рис. 6. Варианты контроля критерия оптимальности в задачах обнаружения сигнала в случайном порядке и последовательно изменяющейся интенсивности

Белые кружки и пунктирные линии – РХН в серии со случайным порядком предъявления сигналов разной интенсивности.

Черные кружки и сплошные линии – РХН в серии с последовательно увеличивающейся интенсивностью сигналов.

неопределенных условиях критерий совпадает с парадоксальным критерием Виккерса (Vickers, Leary, 1983), повторяя результаты первого эксперимента с меняющейся априорной вероятностью, совпадая с ними и по смыслу, и по факту представленности у тех же самых испытуемых.

Сочетание избегания неопределенности и ориентации на состояние еще больше усугубляет положение. Испытуемые, лично и ситуативно тревожные, избегающие риска и трудноразрешимых ситуаций, перемен и новой стимуляции, стереотипные, инертные, реактивные, с низкой скоростью реализации поведенческих программ, ориентированные на субъективное состояние, слабые по процессам возбуждения и торможения, оставляют без внимания важнейшую сенсорную информацию, непосредственно связанную с задачей: повторение в стимульной последовательности одних и тех же сигналов постепенно увеличивающейся интенсивности. Фактор последовательности не влияет на их стратегию и критерий оптимальности: при переходе от серии 1 (случайный характер изменений интенсивности сигнала) к серии 2 (блоки с последовательным увеличением интенсивности) динамика показателей решения задачи в ответ на увеличение интенсивности сигнала не только не улучшается, но и вообще не меняется (рисунок 6а, б).

В эксперименте по методу средней ошибки задача, решавшаяся испытуемым, моделировала задачи, связанные с контролем пространственного положения и движения воздушного судна, выводом судна в заданное положение и на заданный курс, выравниванием его по крену и тангажу. Процедура эксперимента включала две серии, условно названные: «Поворот машины на курс с соответствующим изменением положения ориентира» (серия 1) и «Поворот машины на курс без изменения положения ориентира» (серия 2). В каждой тестовой пробе испытуемому предъявлялась на мониторе конфигурация из трех точек. Вершина треугольника, образуемого точками, символизировала положение ориентира, основание – линию горизонта, ограниченную остеклением кабины. От испытуемого требовалось подравнять взаиморасположение точек так, чтобы точка, расположенная в верхней части экрана, проецировалась в центр отрезка, образуемого двумя нижними точками. Для этого в первой серии испытуемый мог манипулировать положением верхней точки, перемещая ее вдоль горизонтальной оси экрана с помощью двух кнопок дистанционного пульта управления. Во второй серии верхняя точка оставалась неподвижной, а испытуемый управлял положением двух нижних точек, которые при этом перемещались сопряженно; образуемый ими отрезок поворачивался относительно своего центра

по и против часовой стрелки. Испытуемый подравнивал конфигурацию к субъективному стандарту, заданному положением точек на экране.

В первой серии стимульный материал включал три различных варианта расположения двух точек внизу экрана: образуемый ими отрезок мог быть горизонтальным или наклоненным влево или вправо. Во второй серии границы отрезка, подравниваемые самим испытуемым, чередовались и были смещены относительно искомого положения по или против часовой стрелки. Время для подравнивания в каждой пробе не ограничивалось, испытуемый мог совершать возвратные движения подравниваемых точек, делать остановки.

Результаты, полученные в этой экспериментальной сессии, показали, что увеличение зоны неразличения (сравнимое с уменьшением строгости критерия), рост вариативности результатов, количества шагов подравнивания и корректирующих, «возвратных» движений при увеличении неопределенности проявляются у лиц, нетерпимых по отношению к неопределенности и ориентированных на субъективное состояние (Голубинов, 1995; Goloubinov, 2000). Динамика параметров результата, так или иначе связанная с минимизацией или избеганием неопределенности ситуации, наблюдается у лиц экстравертированных, импульсивных, невротичных, адаптивных, избегающих неопределенности, ориентированных на состояние и лично отчужденных от решения поставленных задач. Особенно важно, что ориентация на состояние по тем или иным шкалам связана при увеличении субъективной неопределенности как с увеличением зоны неразличения (динамика в серии 2), так и с увеличением вариативности результатов (динамика в серии 2 и между сериями). Невротичные, нетерпимые по отношению к неопределенности и ориентированные на субъективное состояние наблюдатели в задачах подравнивания стимулов реагируют на увеличение неопределенности ситуации либо повышением числа «шагов» подравнивания (как их общего числа, так и количества корректурных, возвратных движений), либо расширением зоны неразличения (что сопоставимо с либерализацией критерия решения в задачах обнаружения сигнала), либо увеличением вариативности результатов подравнивания (что соответствует снижению устойчивости критерия). Подравнивание при увеличении неопределенности становится более длительным, осторожным, «разбросанным» (менее «кучным»).

В отношении реальных операторских задач *результаты экспериментального исследования в сравнении с анализом процесса прохождения испытуемыми-курсантами практики учебных по-*

летов (Голубинов, 1990, 1993; Goloubinov, 2001) показали, что такие личностные качества, как толерантность к неопределенности и ориентация на действие или на состояние, и экспериментальные показатели, свидетельствующие об оптимальной стратегии работы наблюдателя при решении сенсорных задач, тесно взаимосвязаны с *летными способностями* курсантов – будущих пилотов вертолетов. А именно со скоростью и эффективностью овладения ими навыками пилотирования и пространственной ориентировки.

Высокие летные способности проявили курсанты, во-первых, ориентированные на действие и задачу и повышающие строгость критерия решения при увеличении неопределенности ситуации и, во-вторых, толерантные к неопределенности и при изменяющейся вероятностной структуре стимульной последовательности сохраняющие устойчивость вероятности правильных решений.

Наибольшую скорость успешного прохождения программы учебных полетов также показали курсанты, в личностном плане толерантные к неопределенности.

Ориентация на действие и задачу определяет включенность субъекта в решение поставленных задач, работу по принципу оптимальности и не только оптимальную динамику критерия, опирающуюся на вероятность появления сигнала, но и высокую эффективность в решении профессиональных задач пилотирования и пространственной ориентировки. Противоположность этому – минимальная оценка летных способностей, низкая успеваемость в прохождении программы учебных полетов у лиц, ориентированных на субъективное состояние и в психофизическом эксперименте демонстрирующих компенсаторную, «парадоксальную» динамику критерия при изменении неопределенности ситуации.

Толерантность к неопределенности обеспечивает не только активность в перемещении критерия и оптимизацию решения психофизической задачи, но и является залогом быстрого усвоения курсантами программы полетов и выработки навыков пилотирования и пространственной ориентировки.

Сочетание толерантности к неопределенности и ориентации на действие и задачу определяет подлинную оптимальность решения экспериментальной психофизической задачи и достижение максимальной эффективности учебной деятельности (рисунок 4).

Противоположный вариант – сочетание ориентации на субъективное состояние с избеганием неопределенности – в психофизической ситуации эксперимента определял малоэффективную, близкую рандомизированному (случайному) правилу решения динамику параметров исполнения.

Во время учебных полетов это служило предпосылкой низких летных способностей, медленного темпа освоения программы, резкого снижения эффективности пространственной ориентировки и качества пилотирования, появления большого количества ошибок, заторможенности и скованности движений при усложнении условий полета (рисунок 3).

Таким образом, проведенный в данной работе психофизический анализ индивидуальной динамики решения отдельных сенсорно-перцептивных задач, входящих в состав пространственной ориентации пилота, в сочетании с диагностикой личностных особенностей открывает перспективный путь для дифференциально-психологического прогноза эффективности пилотирования воздушного судна и ориентации его положения в пространстве. В практическом плане полученные результаты и их интерпретация могут быть использованы в теории и практике инженерной и экспериментальной психологии в целях оптимизации деятельности человека-оператора по решению задач, связанных с приемом и переработкой слабых и слабо различающихся сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

- Абульханова-Славская К. А. Типология активности личности // Психологический журнал. 1985. Т. 6. № 5. С. 3–18.
- Бардин К. В., Скотникова И. Г., Фришман Е. З. Психофизика активного субъекта // Мышление и общение: активное взаимодействие с миром. Ярославль: Изд-во ЯГУ, 1988. С. 34–46.
- Забродин Ю. М. Введение в общую теорию сенсорной чувствительности // Психофизические исследования. М.: Наука, 1977. С. 31–125.
- Забродин Ю. М. Процессы принятия решения (в сенсорных задачах), их изучение и описание // Нормативные и дескриптивные модели принятия решений. М.: Наука, 1981. С. 320–339.
- Забродин Ю. М., Голубинов В. В. Субъективные критерии оптимальности решения психофизической задачи и личность // Психологический журнал. 1990. Т. 11. № 6. С. 76–85.
- Голубинов В. В. Личностный контроль критерия оптимальности решения психофизической задачи // Проблемы дифференциальной психофизики. М.: Изд-во ИП РАН, 1991. С. 177–196.
- Голубинов В. В. Субъективно-личностные критерии оптимальности решения в процессе пространственной ориентировки пилота // Проблемы инженерной психологии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. С. 45.
- Голубинов В. В. Психодиагностика личностного отношения к неопределенности // Психологическое исследование. Материалы третьих Страховских чтений. Саратов: Изд-во СГУ, 1993. С. 75–77.

- Голубинов В. В. Субъективно-личностные критерии оптимальности решения пилотом задач пространственной ориентировки // Психолого-методические вопросы спорта, физической культуры и здоровья. Вып. 3. Саратов: Изд-во СГУ, 1993. С. 79–82.
- Голубинов В. В. Психодиагностика включенности субъекта в решаемую задачу // Бюллетень международной академии психологических наук. Ярославль: Изд-во ЯГУ, 1994. Вып. 1. С. 50–52.
- Голубинов В. В. Личностные факторы контроля оптимальности решения подравнивания стимулов // Вопросы практической психологии. Выпуск 2. Саратов: Изд-во СГУ, 1995. С. 38–41.
- Голубинов В. В. Индивидуальные особенности динамики процесса обнаружения в условиях меняющейся интенсивности сигнала // Материалы Четвертых Страховских чтений. Саратов: Изд-во СГУ, 1996. С. 68–71.
- Голубинов В. В. Индивидуальные особенности выбора критерия оптимальности решения в задачах пространственной ориентации пилота // Психология труда в условиях проблемных ситуаций. Саратов: Изд-во СГУ, 1996. С. 218–224.
- Голубинов В. В., Забродин Ю. М. Образ психофизической задачи и субъективные критерии оптимальности решения // Психологический журнал. 1991. Т. 12. № 1. С. 96–107.
- Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основания. М.: Мир, 1978.
- Русалов В. М. Биологические основы индивидуально-психологических различий. М.: Наука, 1979.
- Саймон Г. Науки об искусственном. М.: Наука, 1970. С. 115.
- Gai E., Curry R. Perseveration effects in detection tasks with correlated decision intervals // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. 1978. 8 (2). P. 93–100.
- Goldsmith R. W., Sahlin N. E. The role of second-order probabilities in decision making // Analysing and aiding decision processes. Amsterdam – Budapest: North-Holland and Akadémiai Kiadó, 1983. P. 455–467
- Goloubinov V. Personality factors of optimal criterion control in signal detection // Fechner Day'96. Proceedings of the 12-th annual meeting of the International Society for Psychophysics. Padua: ISP, 1996. P. 269–274.
- Goloubinov V. Personality factors of decision behavior in detection tasks with changing signal strength // Fechner Day'97. Proceedings of the 13-th annual meeting of the International Society for Psychophysics. Poznan: ISP, 1997. P. 177–182.
- Goloubinov V. Personality factors and criterion control in detection tasks with using sequential increasing signal strength // Fechner Day'99. Proceedings of the 15-th annual meeting of the International Society for Psychophysics. Tempe: ISP, 1999. P. 250–255.

- Goloubinov V.* Personality factors of optimality control in signal equalization tasks // Fechner Day'00. Proceedings of the 16-th annual meeting of the International Society for Psychophysics. Strasbourg: ISP, 2000. P. 191–196.
- Goloubinov V.* Sensing the future the psychophysics as seismograph: a signal detection method forecasts the pilots training success // Fechner Day'01. Proceedings of the 17-th annual meeting of the International Society for Psychophysics. Leipzig: ISP, 2001. P. 379–384.
- Kuhl J.* Motivation, Konflikt und Handlungskontrolle. Berline, 1983.
- MacDonald A.* Revised scale for ambiguity tolerance: reliability and validity // Psychological Reports. 1970. 26. P. 791–798.
- Mesarovic M., Erlandson R., Macko D., Fleming D.* Satisfaction principle in modeling biological functions // Kybernetics. 1973. 2 (2). P. 67–75.
- Mesarovic M.D., Takahara Y.* General systems theory: mathematical foundation. New York, San Francisco, London: Academic press, 1975.
- Simon H.A.* The sciences of the artificial. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1969. P. 95. *Vickers D., Leary J.N.* Criterion control in signal detection // Human Factors. 1983. 25 (3). P. 283–296.

ГЛАВА 25

СВЯЗЬ КОГНИТИВНЫХ СТИЛЕЙ С ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ СЧИТЫВАНИЯ ПРИБОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Одной из важных проблем инженерной психологии является исследование восприятия и переработки информации оператором. Эффективность восприятия и переработки приборной информации зависит от характеристик информации, характеристик информационного поля, от соблюдения принципов размещения индикаторов, от индивидуальных особенностей оператора (Венда, 1982).

В ряде работ отмечено, что параметры когнитивных стилей связаны с успешностью выполнения различных задач (Сергеев, 1986; Курочкин, 1986; Алешина, 1986; Ким, 2002; Холодная, 2002 и др.). Выявлена связь эффективности восприятия и переработки зрительной информации и таких когнитивных стилей, как полнезависимость/полнезависимость, узкий/широкий диапазон эквивалентности, импульсивность/рефлексивность. При изучении влияния когнитивного стиля (импульсивность/рефлексивность) на особенности решения психофизических задач И. Г. Скотниковой были экспериментально обнаружены повышенные пороги зрительного различения у наблюдателей с более импульсивным когнитивным стилем в сравнении с рефлексивным (Скотникова, 1986; Скотникова, 1990). Рефлексивные испытуемые (учащиеся техникумов и вузов) в отличие от импульсивных более точно воспринимают информацию (в знаковой, цифровой, геометрической форме) (Холодная, 2002). В исследованиях Уиткина с соавт. было показано, что полнезависимость соотносится с высокими показателями по фактору «гибкость завершения гештальта» (по Терстоуну), включающему показатели решения задач на воссоздание изображения объекта по его частям, нахождение деталей в сложных фигурах и т. п. Полнезависимость также соотносится с высокими показателями по фактору «адаптивная гибкость» (по Гилфорду), включающему показатели решения задач на преобразование

семантического и перцептивного материала (Холодная, 2002). По данным И. В. Тихомировой (см.: Холодная, 2002) в группе подростков полнезависимость сочетается с медленным угашением ориентировочной реакции (большой объем анализируемых признаков), в группе студентов полнезависимость сочетается с быстрым угашением ориентировочной реакции (высокая скорость переработки информации). Э. Боттенберг (см.: Холодная, 2002) в результате факторного анализа обнаружил, что в один фактор с полнезависимостью вошли высокие показатели субтестов интеллектуальной шкалы Амтхауэра «составление фигур» (способность мысленно составлять из деталей целую геометрическую фигуру) и «кубики» (способность к ментальной ротации объектов). По результатам И. В. Тихомировой, широкий диапазон эквивалентности входит в единый симптомокомплекс вместе с полнезависимостью, высоким уровнем ориентировочной реакции на первый стимул (в виде величины депрессии альфа-ритма) и быстрым ее угашением, а также интроверсии и преобладанием второсигнальных способов переработки информации. Напротив, узкий диапазон эквивалентности оказывается связанным с полнезависимостью, низким уровнем ориентировочной реакции на первый стимул и длительным ее угашением и преобладанием первосигнального способа переработки информации (Холодная, 2002).

Целью данного исследования является выявление связей параметров когнитивных стилей (узкий/широкий диапазон эквивалентности, импульсивность/рефлексивность, полнезависимость/полнезависимость) с эффективностью восприятия приборной информации.

Гипотезы исследования. Эффективность восприятия приборной информации связана с пространственной организацией информации и когнитивно-стилевыми особенностями операторов. Операторы с различным сочетанием когнитивно-стилевых особенностей отличаются по эффективности считывания в условиях разной пространственной организации информации.

Задачи исследования: 1) выявление эффективности считывания приборной информации (время реакции, ошибки и пропуски при считывании) при разной пространственной организации информации; 2) определение связи параметров когнитивных стилей с эффективностью считывания приборной информации; 3) сравнение эффективности считывания приборной информации у групп испытуемых с разными когнитивными стилями.

Независимыми переменными в исследовании выступали:

- Пространственная организация информации (низкая/высокая плотность расположения шкал)

- Когнитивные стили (узкий/широкий диапазон эквивалентности, импульсивность/рефлексивность, полезависимость/полнезависимость).

Зависимой переменной являлась эффективность считывания приборной информации в виде ошибок считывания, пропусков и времени реакции.

Методика исследования

Для исследования эффективности восприятия приборной информации применялась компьютерная программа. Программа позволяет предъявлять изображения по специально сконструированной последовательности. Каждое изображение предъявлялось на экране монитора. В одно изображение входят четыре окружности в виде циферблатов, располагающихся по углам экрана. Каждая окружность разбита на 12 секторов, в центре окружности располагается стрелка, указывающая на один из 12 секторов. Секторы циферблата помечены ризкой и цифрой от 1 до 12. Диаметр каждого циферблата составляет 5 см. Каждый циферблат обведен внешним контуром по краям ризок. Центры циферблатов располагались на одном и том же расстоянии от центра экрана, и в разных сериях имеют следующие значения: 3,5 см. и 4,6 см. В каждом изображении в середине монитора помещалась буква «М» или буква «Б». Были спланированы 2 экспериментальные серии.

Серия 1 (низкая плотность расположения шкал): циферблат состоит из 12 ризок, отмечающих сектора и цифр (от 1 до 12), обозначающих каждый сектор; циферблаты располагаются на расстоянии 4,6 см. от центра.

Серия 2 (высокая плотность расположения шкал): циферблат состоит из 12 ризок, отмечающих сектора и цифр (от 1 до 12), обозначающих каждый сектор; циферблаты располагаются на расстоянии 3,5 см. от центра.

Каждая серия состоит из 88 предъявлений изображений шкал.

Если в центре экрана предъявляется «М», испытуемый должен найти циферблат, в котором стрелка показывает на наименьшую цифру и нажать на клавишу с этой цифрой. Если в центре экрана предъявляется «Б», испытуемый должен найти циферблат, в котором стрелка показывает на наибольшую цифру и нажать на клавишу с этой цифрой.

Каждая серия включала 88 изображения шкал. 44 были с цифрой «М» и 44 изображения с буквой «Б». Изображения с буквой «М» и с буквой «Б» предъявляются в случайной последовательности внутри каждой серии. Каждый из четырех циферблатов, в котором

стрелка указывает на наибольшую и на наименьшую цифру в серии, предьявляется в случайном порядке. Наибольшая и наименьшая цифра в циферблатах также предьявляется в случайной последовательности. Наименьшие цифры в каждом циферблате – от 1 до 11. Наибольшие цифры в каждом циферблате – от 2 до 12.

Проба состояла из предьявления изображения четырех циферблатов с буквой в середине экрана, предьявления маски, ответа испытуемого. Длительность предьявления изображения равна 1200 мс. Длительность предьявления маски равна 4000 мс для всех экспериментальных серий. Ответ испытуемого (нажатие на клавишу с цифрой) мог фиксироваться от момента начала предьявления изображения до конца предьявления маски. Автоматически осуществлялось измерение времени реакции от начала предьявления изображения до момента нажатия на клавишу испытуемым. Регистрировалось первое нажатие на клавишу испытуемым. Окончанием экспериментальной серии служит предьявление таблицы данных испытуемого. Таблица данных содержит: 1) номер предьявления, 2) ответ (цифра, нажатая испытуемым), 3) время реакции в мс, 4) пропуск. Ошибкой испытуемого считается нажатие клавиши с неверной цифрой. Пропуском считается, если испытуемый не нажимал на клавишу с ответом во время предьявления данного изображения и во время экспозиции маски.

Программа позволяет задавать параметры времени предьявления изображений и время предьявления маски; различные режимы предьявления изображений (основной режим, режим предварительной тренировки); количество проб основного режима (до 200 проб) и количество проб предварительной тренировки (до 48).

Инструкция испытуемому: «Вам будут предьявляться изображение четырех круглых циферблатов: два сверху и два снизу. Каждый циферблат имеет 12 делений, отмеченных цифрами от 1 до 12. В центре циферблата находится стрелка, которая указывает на одну из этих 12 цифр.

В середине экрана располагается буква «М» или буква «Б». Если в центре экрана располагается буква «М», вы должны найти циферблат, где стрелка указывает на **наименьшую** цифру. Вы должны нажать указательным пальцем на клавишу с этой цифрой. Если в центре экрана располагается буква «Б», вы должны найти циферблат, где стрелка указывает на **наибольшую** цифру. Вы должны нажать указательным пальцем на клавишу с этой цифрой».

Для измерения когнитивных стилей испытуемых использовались следующие методики: тест АКТ-70 (полезависимость/полenezависимость), методика «Свободная сортировка слов» В. Колги (узкий/

широкий диапазон эквивалентности), тест Кагана (импульсивность/рефлексивность).

Методика АКТ-70 является разновидностью методики «Включенные фигуры» Уиткина. Методика состоит из 30 заданий, расположенных на 2 листах и листа с инструкцией и образцом выполнения заданий. Испытуемому в верхней части листа предъявляются 5 простых фигур, в нижней – сложные фигуры (по 15 на каждом из двух листов). Испытуемый должен найти и обвести в сложной фигуре простую фигуру, которая включена в нее в качестве составной части. Показатели полнезависимости/полнезависимости: 1) время выполнения первого листа заданий; 2) время выполнения второго листа заданий; 3) общее время выполнения заданий; 4) количество правильных ответов; 5) продуктивность, определяемая как частное от деления количества правильных ответов на время. Чем больше показатели 4 и 5 и меньше показатель 3, тем больше выражена полнезависимость испытуемого.

Методика «Свободная сортировка слов» В. Колги представляет собой написанные на отдельных карточках 35 слов, характеризующих различные аспекты категории время. Испытуемый должен разложить карточки на группы наиболее удобным для него способом. Инструкция испытуемому: «Перед вами карточки с написанными на них словами, обозначающими различные аспекты категории «время». Вам нужно разложить эти карточки на группы наиболее естественным, логичным и удобным для вас способом. Количество групп и количество слов в группе может быть любым. Если вам кажется, что какое-либо слово никак не связано с остальными, положите эту карточку отдельно. Данное задание не предусматривает правильный или неправильный ответ – каждый раскладывает карточки по-своему. Приступайте!»

Показатели узости/широты диапазона эквивалентности: 1) количество выделенных групп; 2) количество слов в наибольшей по объему группе; 3) количество групп, состоящих из одного объекта; 4) коэффициент категоризации в виде частного от деления суммы баллов по всем выделенным группам в зависимости от основания категоризации каждой группы: формально-ситуативного (0 баллов) либо категориального (1 балл) на общее количество групп; 5) разброс в объемах групп – разница в объемах самой большой и самой маленькой групп, деленная на количество выделенных групп. Большие показатели 1, 2, 5 свидетельствуют о преобладании глобального, хаотического подхода к перцептивному материалу.

Тест Кагана представляет собой 12 таблиц, на каждой из которых сверху находится изображение знакомого предмета (фигура-эталон),

а внизу располагаются в 2 ряда 8 почти идентичных изображений этого предмета, среди которых только одно полностью соответствует фигуре-эталону. Испытуемый должен найти изображение, полностью идентичное фигуре-эталону. В каждом задании фиксировалось время первого ответа и количество ошибок, сделанных испытуемым. Показателем когнитивного темпа выступала сумма времени первых ответов по 12 заданиям теста. Кроме того, фиксировался показатель количества ошибок как сумма ошибок по 12 заданиям теста.

Процедура исследования. Исследование состояло из двух этапов. Первый этап исследования проводился в группе, второй индивидуально. На первом этапе проводилась методика для изучения эффективности считывания приборной информации. Перед началом проведения методики у испытуемого была предварительная тренировка. На втором этапе диагностировались когнитивные стили. Общее время проведения обследования одного человека составляла 1 час 30 мин.

Методика для изучения эффективности восприятия приборной информации проводилась с каждым испытуемым 2 раза. В первый раз испытуемый выполнял четыре экспериментальные серии. Во второй раз все экспериментальные серии предъявлялись испытуемому в обратном порядке (для компенсации эффекта переноса). Была применена схема индивидуального эксперимента по плану реверсивного уравнивания.

Испытуемые. В исследовании приняли участие 39 мужчин, водителей автотранспорта. Возраст испытуемых – от 18 до 22 лет.

Обработка эмпирических и экспериментальных данных

- 1) Сбор исходных файлов и перенос в базу данных Statistica 6.2.
- 2) Предварительный просмотр и отсев явных ошибок с помощью карт качества (правило 3 сигм).
- 3) Формирование файлов данных в соответствии с проверяемой гипотезой.
- 4) Подбор адекватных статистических методов в соответствии с особенностями изучаемых переменных.
- 5) Для методики эффективности считывания приборной информации вычислены следующие показатели:
 - Среднее время реакции ответа испытуемых по двум сериям для условий: низкая плотность шкал, высокая плотность шкал; стандартное отклонение времени реакции ответа для этих условий; частоты пропусков и ошибок для каждого из условий.

- Частота вычислялась следующим образом: количество пропусков делилось на количество проб в условии; количество ошибок, делилось на количество проб в условии.
- б) Для статистической обработки данных использовался корреляционный анализ, кластерный анализ, дисперсионный анализ, параметрическая и непараметрическая статистика.

Результаты

- 1) Была проверена гипотеза о влиянии плотности расположения шкал на время реакции ответа и частоты ошибок и пропусков с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Фактором являлась плотность расположения шкал, зависимыми переменными было время реакции, частота ошибок, частота пропусков.
- Выявлено влияние плотности расположения шкал на частоту допущенных пропусков ($F = 4,96$; $p = 0,03$) и частоту допущенных ошибок ($F = 22,99$; $p = 0,00$). Частота пропусков и частота ошибок больше при низкой плотности расположения шкал (рисунки 1 и 2, таблица 1).

Таблица 1

Частота ошибок и пропусков

в условиях высокой и низкой плотности расположения шкал

	Частота пропусков	Частота ошибок
Низкая плотность	0,07	0,27
Высокая плотность	0,04	0,19

- 2) Вычислен коэффициент корреляции Спирмена между параметрами когнитивных стилей и показателями эффективности считывания приборной информации.

Получено 10 корреляционных связей параметров когнитивных стилей с показателями эффективности считывания приборной информации. Параметры всех когнитивных стилей оказались связаны с показателями эффективности считывания приборной информации (время реакции и частота пропусков). Коэффициенты корреляции Спирмена и уровни значимости коэффициентов корреляции представлены в таблице 2.

- 1) Выявлено 6 корреляционных связей показателей независимости (время выполнения методики АКТ, продуктивность) с эффективностью считывания приборной информации (время реакции, частота пропусков).

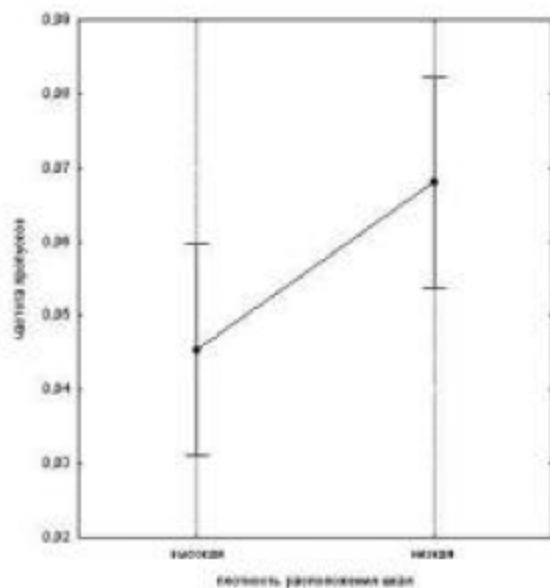


Рис. 1. Влияние плотности расположения шкал на частоту допущенных пропусков

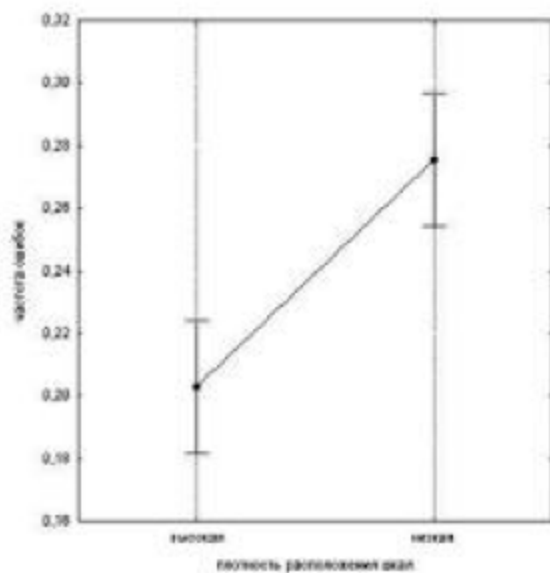


Рис. 2. Влияние плотности расположения шкал на частоту допущенных ошибок

Таблица 2

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЧИТЫВАНИЯ
ПРИБОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ И КОГНИТИВНЫХ СТИЛЕЙ

Стилевые показатели	Показатели эффективности считывания приборной информации			
	Среднее время реакции (низкая плотность)	Среднее время реакции (высокая плотность)	Частота пропусков (низкая плотность)	Частота пропусков (высокая плотность)
Время АКТ	0,37 (p=0,02)	0,35 (p=0,03)	0,4 (p=0,01)	0,39 (p=0,01)
Продуктивность АКТ			-0,31 (p=0,05)	-0,33 (p=0,04)
Коэффициент категоризации				-0,4 (p=0,01)
Количество ошибок (Каган)	0,38 (p=0,02)	0,31 (p=0,05)		0,35 (p=0,03)

Частота пропусков в сериях с низкой и высокой плотностью расположения шкал положительно связана со временем выполнения методики АКТ (время АКТ). Время реакции в сериях с низкой и высокой плотностью расположения шкал положительно связано со временем выполнения методики АКТ. Найдена отрицательная корреляционная связь полезности (продуктивность АКТ) с частотой пропусков в серии с низкой плотностью расположения шкал и с частотой пропусков в серии с высокой плотностью расположения шкал.

- 2) Обнаружено 4 корреляционные связи показателя импульсивности в виде большого количества ошибок по тесту Кагана со временем реакции и частотой пропусков.

Количество ошибок по тесту Кагана положительно связано со временем реакции в серии низкой плотности расположения шкал и высокой плотности расположения шкал. Также количество ошибок по тесту Кагана положительно связано с частотой пропусков в серии с высокой плотностью расположения шкал.

- 3) Узкий диапазон эквивалентности в виде показателя коэффициента категоризации отрицательно связан с частотой пропусков в сериях высокой плотности расположения шкал.
- 4) Проведен кластерный анализ (метод Уорда) для выделения субгрупп испытуемых по когнитивным стилям импульсивность/рефлективность и узкий широкий диапазон эквивалентности.

Кластерный анализ для выделения субгрупп испытуемых по импульсивности/рефлексивности проводился по показателям количества ошибок (дополнительный показатель) и времени первых ответов (основной показатель). В рамках этого когнитивного стиля выделяются три непересекающихся кластера, которые могут быть проинтерпретированы как субгруппы «рефлексивные» (кластер 1), «быстрые/точные» (кластер 2), «импульсивные» (кластер 3). В таблице указаны названия полученных кластеров, количество испытуемых и процентное соотношение испытуемых, образующих эти кластеры, а также значения центроидов выделившихся кластеров по основному и дополнительному показателям. В изученной нами выборке преобладают импульсивные.

Таблица 3

ОБОЗНАЧЕНИЕ КЛАСТЕРОВ С УКАЗАНИЕМ ПРОЦЕНТА ИСПЫТУЕМЫХ
В КАЖДОЙ СУБГРУППЕ И СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ЦЕНТРОИДОВ

Название кластеров	% испытуемых	Сумма времени первых ответов (в минутах)	Количество ошибок
1.»Рефлексивные»	35,9	19,5	1
2.»Быстрые/точные»	25,64	8,3	3
3.»Импульсивные»	38,46	11,2	10

Кластерный анализ для выделения субгрупп испытуемых по диапазону эквивалентности проводился по показателям количество групп (основной показатель) и коэффициент категоризации (дополнительный показатель). В рамках когнитивного стиля диапазон эквивалентности выделяются три четко различимых кластера, которые могут быть проинтерпретированы как субгруппы «категоризаторов» (кластер 1), «глобалистов» (кластер 2), «детализаторов» (кластер 3). В выборке не выявилась субгруппа «дифференциаторов». В таблице приводятся названия кластеров с указанием процентного соотношения испытуемых, образующих эти кластеры, а также значения центроидов каждого из выделившихся кластеров. Субгруппа «глобалистов» преобладает в рамках обследованной выборки.

По стилю полезависимость/полenezависимость были выделены группы полenezависимых (6 человек) и полезависимых (6 человек) и испытуемых, имеющие средние значения по шкале полезависимости/полenezависимости.

Таблица 4

ОБОЗНАЧЕНИЕ КЛАСТЕРОВ С УКАЗАНИЕМ ПРОЦЕНТА ИСПЫТУЕМЫХ В КАЖДОЙ СУБГРУППЕ И СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ЦЕНТРОИДОВ

Название кластеров	% испытуемых	Количество групп	Коэффициент категоризации
1. «Категоризаторы»	12,82	6	0,83
2. «Глобалисты»	64,1	6	0,37
3. «Детализаторы»	23,08	10	0,27

- 5) Проведен однофакторный дисперсионный анализ для проверки влияния плотности расположения шкал на эффективность считывания информации испытуемыми, принадлежащих к разным стилевым подгруппам.

Выявлено влияние плотности расположения шкал на частоту ошибок в группе рефлексивных ($F = 6,14$; $p < 0,02$), быстрых/точных ($F = 7,06$; $p < 0,01$) и импульсивных ($F = 10,54$; $p < 0,00$) испытуемых. Частота ошибок больше в серии низкой плотности расположения шкал у этих групп. Аналогичное влияние плотности расположения шкал было выявлено у рефлексивных на частоту допущенных ими пропусков ($F = 4,18$; $p < 0,05$). Рефлексивные испытуемые допускали больше пропусков в серии низкой плотности расположения шкал.

Плотность расположения шкал влияет на частоту пропусков у подгруппы глобалистов. При низкой плотности расположения шкал частота ошибок больше, чем при высокой ($F = 17,15$; $p < 0,00$).

- 6) Было проведено сравнение эффективности считывания приборной информации у подгрупп, выделенных по стилю полезависимость/полenezависимость, диапазон эквивалентности, импульсивность/рефлексивность. Показатели эффективности считывания информации подгрупп сравнивались по критерию Манна–Уитни (время реакции, частота ошибок, частота пропусков).
- 1 Не выявлено отличий в эффективности считывания приборной информации по всем показателям эффективности считывания между полезависимыми и полenezависимыми.
 - 2 Обнаружены различия между **категоризаторами и детализаторами** в частоте допущенных пропусков. У категоризаторов частота пропусков меньше, чем у детализаторов в сериях высокой плотности расположения шкал (ранговая сумма по группе категоризаторов = 22,5, ранговая сумма по группе детализаторов = 82,5; $U_{\text{манн}} = 7,5$, $p < 0,04$).
 - 3 Выявлены различия в эффективности считывания информации между **рефлексивными и импульсивными**. У им-

пульсивных время реакции ответа меньше в серии низкой плотности расположения шкал, чем у рефлексивных (ранговая сумма по группе импульсивных = 163, ранговая сумма по группе рефлексивных = 272; $U_{\text{эмп}} = 58, p < 0,04$).

- 7) Осуществлена проверка на нормальность распределения параметров когнитивных стилей и показателей считывания эффективности приборной информации. Распределения параметров когнитивного стиля диапазона эквивалентности, импульсивности/рефлексивности и эффективности считывания приборной информации значимо не отличаются от нормального. Переменные были стандартизированы (линейная стандартизация) для проведения кластерного анализа.

Мы осуществили кластерный анализ с целью разделения испытуемых на группы для проверки межгрупповых различий в эффективности считывания приборной информации. Кластерный анализ проводился по методу K-means.

Кластерный анализ включал следующие переменные: продуктивность (АКТ); количество групп, коэффициент категоризации, количество набранных баллов (диапазон эквивалентности); сумма времени первых ответов, количество ошибок (Каган).

Результаты кластерного анализа можно привести на рисунке 3.

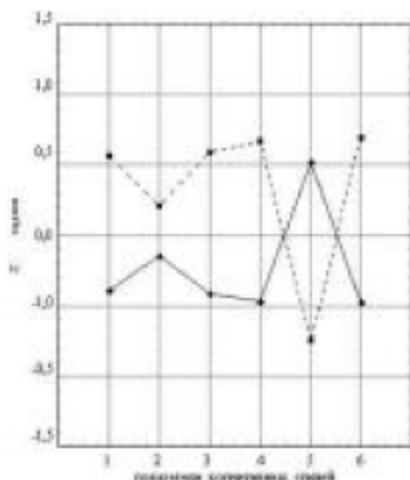


Рис. 3. Кластерный анализ по параметрам когнитивных стилей

Количество испытуемых, принадлежащих к первому кластеру, – 16 человек (сплошная линия на графике); количество испытуемых, принадлежащих ко второму кластеру, – 23 человека (пунктирная линия на графике).

У испытуемых, входящих в 1 кластер, ниже коэффициент категоризации, меньшее количество набранных баллов при категоризации слов (диапазон эквивалентности), меньше время первых ответов, больше количество ошибок (Каган). Сравнивались результаты испытуемых, принадлежащих к получившимся кластерам по эффективности считывания приборной информации (время реакции, стандартное отклонение времени реакции, частота ошибок, частота пропусков). Средние значения кластеров по эффективности считывания приборной информации представлены в таблицах 6 и 7. Получены достоверные отличия в эффективности считывания приборной информации между испытуемыми, принадлежащими к разным кластерам по Т-критерию Стьюдента. У испытуемых, принадлежащих к кластеру 1, больше время реакции в серии с низкой плотностью расположения шкал ($p < 0,02$) в серии с высокой плотностью расположения шкал ($p < 0,02$), больше частота пропусков в серии с низкой плотностью расположения шкал ($p < 0,02$), в серии с высокой плотностью расположения шкал ($p < 0,02$), чем у испытуемых, принадлежащих к кластеру 2.

Таблица 6
Средние значения кластера 1

Переменные	Среднее	Стандартное отклонение
Время реакции в условии высокой плотности расположения шкал	2658 мс	428 мс
Частота пропусков в условии высокой плотности расположения шкал	0,081	–
Частота ошибок в условии высокой плотности расположения шкал	0,275	–
Время реакции в условии высокой плотности расположения шкал	2610 мс	411 мс
Частота пропусков в условии высокой плотности расположения шкал	0,054	–
Частота ошибок в условии высокой плотности расположения шкал	0,201	–

Полезависимые, импульсивные испытуемые, обладающие низким коэффициентом категоризации, хуже выполняют задачи считывания приборной информации.

В результате проведенного исследования было выявлено связи показателей эффективности считывания приборной информации и параметров когнитивных стилей (импульсивность/рефлексивность, полезависимость/полезависимость, диапазон эквивалентности). Показано, что у импульсивных испытуемых больше время реакции по сравнению с рефлексивными в условии низкой

Таблица 7
СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ КЛАСТЕРА 2

Переменные	Среднее	Стандартное отклонение
Время реакции в условии высокой плотности расположения шкал	2509 мс	177 мс
Частота пропусков в условии высокой плотности расположения шкал	0,043	–
Частота ошибок в условии высокой плотности расположения шкал	0,262	–
Время реакции в условии высокой плотности расположения шкал	2441 мс	192 мс
Частота пропусков в условии высокой плотности расположения шкал	0,021	–
Частота ошибок в условии высокой плотности расположения шкал	0,183	–

плотности расположения шкал. Категоризаторы допускают больше пропусков, чем детализаторы в условии высокой плотности расположения шкал. Выявлено, что испытуемые с различным сочетанием когнитивных стилей отличаются по эффективности считывания приборной информации.

ЛИТЕРАТУРА

- Алешина Е. С.* Исследование импульсивности-рефлексивности в дифференциальной психологии учения // Когнитивные стили. Тезисы научно-практич. семинара / Под ред. В. Колги. Таллинн, 1986.
- Венда В. Ф.* Инженерная психология и синтез систем отображения информации. М.: Машиностроение, 1982.
- Ким А. М.* Понимание как общепсихологическая проблема: Автореф. дис. ... докт. психол. наук. Алматы, 2002.
- Курочкин Н. И.* Экспериментальное исследование роли некоторых когнитивных стилей в деятельности врачей-рентгенологов // Когнитивные стили. Тезисы научно-практич. семинара / Под ред. В. Колги. Таллинн, 1986.
- Сергеев С. Ф.* Корреляция когнитивного стиля с продуктивностью деятельности операторов систем слежения // Когнитивные стили. Тезисы научно-практич. семинара / Под ред. В. Колги. Таллинн, 1986.
- Скотникова И. Г.* Реализация когнитивного стиля в познавательных стратегиях как проявление его содержательной стороны // Когнитивные стили. Тезисы научно-практич. семинара / Под ред. В. Колги. Таллинн, 1986.
- Скотникова И. Г.* Психофизические характеристики зрительного различения и когнитивный стиль // Психологический журнал. 1990. Т. 11. № 1.
- Холодная М. А.* Когнитивные стили: О природе индивидуального ума. М.: ПЕР СЭ, 2002.

ГЛАВА 26

РОЛЬ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В ВОСПРИЯТИИ ВРЕМЕНИ: ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Адекватное отражение времени человеком без преувеличения может рассматриваться как одно из важнейших условий его адаптации к изменяющимся условиям внешней среды. Совершенно очевидно, что сохранность базовых психических функций, таких как ощущение и восприятие, обеспечивают адекватность поведенческих реакций. Для человека это играет важнейшую роль не только в биологическом, но и в социальном плане.

В силу разного рода причин в большинстве исследований изучалось влияние физических характеристик стимулов на точность субъективного измерения (шкалирования) времени (Леонов, Лебедев, 1968; Сурнина и др., 1991; Delay, Mathey, 1985). Реже предметом изучения была роль психологических (Delay, Mathey, 1985; Арушанян и др., 1998) и психофизиологических особенностей самого субъекта (Бушов, Несмелова, 1996; Сурнина, Лупандин, 2001; Kadlub, 1996, и др.). В частности, слабо изучено влияние двигательной активности человека на адекватность временного восприятия в разном возрасте (Сурнина, Лупандин, 1999).

Мысль о том, что время и движение тесно связаны между собой, зародилась в древнегреческой философии. Эта проблема во всей своей глубине была поставлена Аристотелем, который связывал ощущение времени с ощущением движения (Веккер, 1998). Эта идея получила дальнейшее развитие в трудах И. М. Сеченова, обогатившего науку представлениями о связи восприятия времени с «тягучестью мышечного чувства» (Сеченов, 1961). Это фундаментальное теоретическое положение стало едва ли не основным в объяснении основ не только восприятия времени (Моисеева, 1985), но и более сложных форм психической деятельности (Новоселова, 2001).

Таким образом, сам по себе факт связи восприятия времени и движения, по-видимому, можно считать установленным. Однако с возрастом любая деятельность совершенствуется, корректируется в соответствии с накопленным опытом (как положительным, так и отрицательным). Это обстоятельство означает, в частности, что восприятие времени хотя и основывается на «тягучести мышечного чувства», но будет отличаться у людей разного возраста. Иначе говоря, длительность временных интервалов будет по-разному оцениваться в разном возрасте, и эти отличия должны носить не только качественный, но и количественный характер. Предполагается, что наличие выраженного моторного аккомпанемента будет обуславливать более адекватное восприятие времени.

К настоящему времени накоплено достаточно большое количество данных относительно адекватности временного восприятия в различных ситуациях. Но эти данные порой носят противоречивый характер, сопоставление их часто оказывается затрудненным или даже невозможным из-за различных условий, методов исследования, разных критериев точности шкалирования. Все это делает крайне сложным вычленение общих или специфических для данной группы закономерностей восприятия времени. К сожалению, нам не удалось обнаружить работ, где на основании идентичных методик был бы проведен сравнительный анализ восприятия времени в онтогенезе, начиная с детского возраста и заканчивая пожилым и старческим. Поэтому целью данной работы было сравнение особенностей восприятия времени у испытуемых разного возраста и выявление роли двигательной активности в этом процессе. Достижению этой цели, на наш взгляд, будет способствовать использование одинаковых методов шкалирования времени во всех возрастных группах.

Методика

В исследовании приняли участие 792 человека в возрасте от 7 до 91 года. Они составили три возрастные группы: 7–8 лет (279 человек – учащиеся 1–2-х классов средних школ г. Екатеринбурга); 17–25 лет (305 человек – студенты вузов); 60–91 год (208 человек – пенсионеры). Старшая возрастная группа была поделена на две подгруппы в зависимости от уровня двигательной активности. В подгруппу «активных» испытуемых вошли пожилые люди, ежедневно выполняющие комплекс физических упражнений общеоздоровительной направленности, а также регулярно посещающие клуб пожилых людей или продолжающие профессиональную деятельность после выхода на пенсию. Подгруппу «пассивных» испытуемых составил контингент дома-интерната для престарелых, вынужденных

вести замкнутый, малоподвижный образ жизни. Работа проводилась в период с 1990 по 2003 гг.

Выбор методов шкалирования длительностей определялся целью исследования. Часть из них относились к так называемым «активным» методам, другие – к «пассивным» (Лебедева, Сурнина, 2002; Лупандин, Сурнина, 1991; Lupandin., Surnina, 1992). Для первых характерен выраженный моторный компонент, т. е. испытуемый активно манипулирует со временем, нажимая кнопки, рычажки и т. д. К таким методам относятся отмеривание и кросс-модальный подбор. В «пассивных» методах двигательная активность минимальна и сводится лишь к вербальному отчету. Таким «пассивным» методом является оценка длительности. В этом случае испытуемый давал вербальную оценку предъявляемых длительностей в секундах. Временные интервалы длительностью 1, 3, 5, 7, 10 сек задавались звуковыми сигналами (40 дБ, 1000 Гц). Опыт состоял из 3 серий, в каждой из которых стимулы предъявлялись в случайном порядке.

Метод отмеривания представлял собой обратную процедуру. Испытуемый должен был отмерить предлагаемый экспериментатором интервал, нажимая на определенную клавишу. В этом случае испытуемый ориентировался исключительно на свое представление о единице измерения времени, свой внутренний эталон секунды. Режим предъявления сигналов и их длительность были теми же, что и при оценке.

При кросс-модальном подборе в ответ на предъявление звукового сигнала испытуемый должен был в соответствии с принципом пропорциональности провести горизонтальную линию соответствующей длины на экране монитора, т. е. чем больше интервал, тем длиннее линия. Иначе говоря, длительность интервалов оценивалась длиной линий. Стимулами служили звуковые сигналы длительностью 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8 и 16 секунд. В начале опыта для ознакомления испытуемому предъявлялся самый продолжительный сигнал (16 с) и сообщалось, что этому временному интервалу соответствует и самая длинная линия. При этом на экране прочерчивалась линия во всю его ширину (640 пх). При соблюдении принципа пропорциональности указанным длительностям должны соответствовать линии длиной 10, 20, 40, 80, 160, 320 и 640 пх. Регистрировалась длина нарисованных линий, она сравнивалась с должной (или теоретической) длиной.

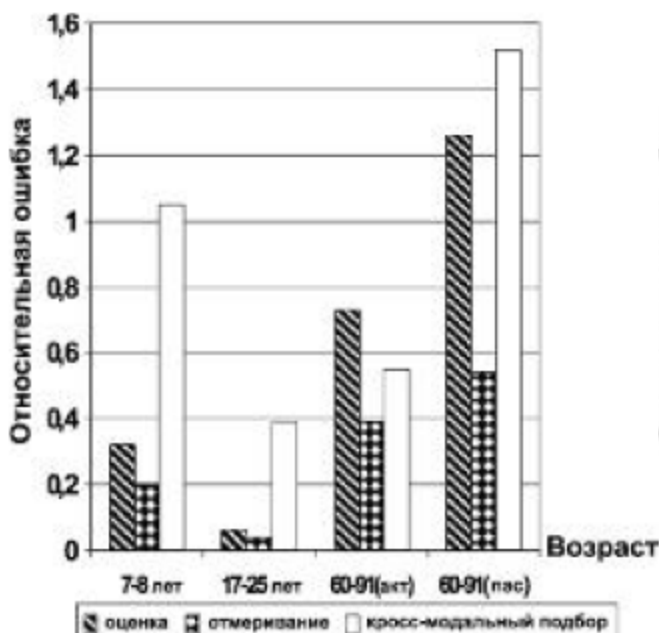
В качестве критерия точности субъективного шкалирования времени использовалась величина относительной ошибки, которая для оценки и отмеривания рассчитывалась как отношение абсолютной ошибки измерения к величине заданного интервала (в секундах).

При использовании метода кросс-модального подбора относительная ошибка вычислялась как отношение разности длины нарисованной и теоретической линии, соответствующей определенной длительности, к величине теоретической линии. Знак ошибки не учитывался.

Кроме относительной ошибки у каждого испытуемого определялось соответствие его субъективной временной шкалы физической. Это соответствие оценивалось по величине показателя степени или экспонента Стивенса психофизической функции. Теоретически показатель степени должен быть равен единице. В этом случае субъективная шкала времени полностью соответствует физической. Такой вариант возможен только в случае пропорциональной оценки (отмеривания) заданных временных интервалов. Если же такая пропорциональность не соблюдается, то экспонента будет отклоняться от единицы в ту или другую сторону. Чем больше это отклонение, тем меньше соответствие шкал друг другу (Лупандин, 1989; Сурнина, Лупандин, 1995).

Результаты

Исходя из предположения, что двигательная активность будет способствовать более точной оценке (отмериванию) интервалов и, соответственно, меньшей ошибке измерения, в каждой возрастной группе вычислялась средняя относительная ошибка. Эти средние значения отражены на рисунке.



Средние значения относительной ошибки шкалирования длительностей в разных возрастных группах: по оси абсцисс – возраст, годы; по оси ординат – величина относительной ошибки, отн. ед.

Представленные данные свидетельствуют о том, что относительная ошибка отмеривания в каждой возрастной группе оказывается меньше, чем при использовании других методов. По-видимому, именно обратная афферентация от мышечных рецепторов во время мышечных усилий способствует формированию механизмов восприятия длительностей, в первую очередь, формированию представлений о единице измерения времени. Мышечная активность является наиболее доступной и легко контролируемой со стороны субъекта и на ранних этапах онтогенеза, очевидно, является основой для шкалирования коротких длительностей. Поэтому даже младшие школьники достаточно точно отмеривают временные интервалы, хотя делают это хуже, чем взрослые. В пожилом и старческом возрасте сохраняется то же соотношение: наибольшую точность обеспечивает метод отмеривания.

Метод кросс-модального подбора наиболее труден для выполнения, так как предполагает умение испытуемого преобразовывать временные отношения в пространственные, т. е. вовлекает сложные когнитивные процессы (память, внимание, разные формы мышления). Субъект в этом случае пользуется двумя единицами измерения – секундой и минимальной длиной линии (10 пикселей), соответствующей минимальному временному интервалу (0,25 с). В силу сложности задания ошибка шкалирования здесь больше, чем при использовании оценки и тем более отмеривания. Исключение составляет группа «активных» пожилых людей, у которых ошибка оценки несколько превышает величину ошибки при использовании метода кросс-модального подбора. Как видно из рисунка, дети и пожилые испытуемые справляются с заданием хуже, чем молодые, причем группа «пассивных» испытуемых демонстрирует наибольшую ошибку.

Пропорциональность измерения временных интервалов является необходимым условием формирования адекватных субъективных временных шкал. Это условие выполнимо только при использовании *постоянной* субъективной единицы измерения времени. Тогда увеличение (уменьшение) длительности физического сигнала в несколько раз приведет к ее субъективному увеличению (уменьшению) во столько же раз. Как показано выше, «активный» метод отмеривания способствует более точному шкалированию времени, т. е. пропорциональность между отмеренными интервалами выражена лучше, чем при оценке. Совершенно очевидно, что более точ-

ная оценка (или отмеривание) длительности будет способствовать формированию и более адекватной субъективной временной шкалы, т. е. показатель степени психофизической функции шкалирования должен приближаться к единице. На основании индивидуальных значений экспоненты Стивенса в каждой возрастной группе вычислялось ее среднее значение для каждого метода шкалирования (таблица).

Таблица 1

Величина показателя степени психофизической функции
при разных методах шкалирования длительности

Метод шкалирования	Возраст, годы			
	7-8	17-25	60-91 (активная гр.)	60-91 (пассивная гр.)
оценка	0,82±0,07	0,89±0,02	0,87±0,07	0,83±0,10
отмеривание	0,91±0,06	1,06±0,04	1,04±0,08	0,70±0,17
кросс-модальный подбор	0,64±0,07	1,03±0,05	0,81±0,05	0,55±0,08

Полученные данные свидетельствуют о том, что при использовании «активного» метода шкалирования – отмеривания – формируются субъективные шкалы, в большей степени соответствующие физическим, чем при оценке интервалов. Это характерно для всех испытуемых, за исключением «пассивной» группы, где показатель степени оказался выше при оценке длительностей.

Сравнение контрастных групп «активных» и «пассивных» пожилых людей также подтверждает исключительную роль двигательной активности в сохранности временных представлений. Испытуемые из «активной» группы точнее оценивают и отмеривают предъявляемые интервалы (рисунок), а по величинам экспонент результаты оказываются сопоставимыми с данными, полученными для молодых людей. Субъективная временная шкала у лиц, проживающих в доме престарелых, значительно уже физической. Обращает на себя внимание чрезмерно низкое значение экспоненты при использовании метода кросс-модального подбора. Испытуемые из «пассивной» группы допускали грубые ошибки, связанные с нарушением пропорциональности между продолжительностью сигнала и длиной устанавливаемой линии.

Обсуждение

Как известно, в основе восприятия времени человеком лежат тесно связанные друг с другом ритмические процессы, важнейшим из которых является ходьба. Шаги позволяют оценить «тягучесть

мышечного чувства» (Сеченов, 1961). Именно оценка движения делает возможным отсчет, реальное фактическое измерение времени. Самую же функцию измерения, как полагал Аристотель, реализует «душа, которая считает». Через посредство памяти и на основании движения объективное физическое время воспроизводится в субъективном психическом времени (Веккер, 1998). Поскольку моторная память начинает развиваться раньше других видов памяти, в том числе и образной (Блонский, 1979), то можно предположить, что у детей младшего школьного возраста восприятие времени должно формироваться в первую очередь на ее основе. Моторная память, развивающаяся раньше других, будет служить надежной физиологической основой субъективного измерения времени.

Двигательная активность у человека обуславливает формирование субъективного временного эталона – внутренней меры времени, которая хранится в долговременной памяти и совершенствуется с возрастом (Сурнина, Лупандин, 1999). Одним из ведущих механизмов его совершенствования является моторный аккомпанемент (Сурнина, 1999).

Мышечная активность является наиболее доступной, легко контролируемой и регулируемой со стороны субъекта. Это дает основание полагать, что методы шкалирования, включающие выраженный моторный компонент, обеспечат более точное измерение времени. Действительно, как показали наши результаты, несмотря на то, что испытуемые обладали разными возможностями (возраст, уровень образования, жизненный опыт, принадлежность к той или иной социальной группе), относительная ошибка шкалирования при использовании «активного» метода отмеривания была ниже, чем при использовании других методов. Совершенно очевидно, что при отмеривании именно двигательная активность определяла минимальную для каждой группы ошибку измерения. Вместе с тем, из рисунка видно, что минимальная ошибка имеет место у молодых испытуемых 17–25 лет. Очевидно, к этому возрасту функция восприятия времени достигает своего совершенства, что представляется вполне логичным, если учесть тот факт, что на этом этапе онтогенеза и другие функции достигают своего расцвета.

Оценка длительности представляет собой процедуру, обратную отмериванию и более сложную для испытуемого. Она предполагает оперирование внутренним эталоном времени, который хранится в долговременной памяти человека. У взрослого человека этот эталон актуализируется при необходимости измерения времени. По-видимому, он постоянно обновляется, корректируется по типу доминанты, всякий раз совершенствуясь и обогащаясь на осно-

ве влияний из внешней и внутренней среды (Ухтомский, 1978). И чем больше этих влияний, чем прочнее «вплетен» эталон в общую систему связей и отношений между явлениями окружающего мира и внутренними процессами организма, тем точнее будет оценка времени. Восприятие времени становится совершенным у взрослых молодых испытуемых: ошибки у них минимальные при любом способе шкалирования. Действительно, относительная ошибка оценки у них составила 0,06, а метод отмеривания (с выраженным моторным компонентом) обеспечивает еще более точное измерение интервалов (ошибка 0,04).

В отличие от взрослого человека для маленького ребенка мыслить – значит вспомнить, значит опереться на свой прежний опыт (Выготский, 1979). Действительно, в наших опытах при оценке длительностей дети пользовались дополнительными средствами отсчета времени (похлопывали по столу, кивали, притопывали), т. е. вспоминали именно те действия, движения, которые ассоциируются у них с единицей измерения времени. У младших школьников представление о времени несовершенно (Рихтерман, 1991), поэтому в целом они хуже шкалируют длительности, а ошибки на порядок больше, чем у взрослых испытуемых. При оценке интервалов у детей относительная ошибка равна 0,32. В то же время при использовании метода отмеривания ошибка оказывается меньше (0,2), чем при оценке и при использовании кросс-модального подбора.

Можно было бы предположить, что в пожилом и старческом возрасте в результате естественного ограничения двигательной активности последняя вряд ли может использоваться в качестве надежной основы для восприятия времени. Результаты приведенных исследований свидетельствуют в пользу такого предположения. У пожилых людей ошибки оценки и отмеривания больше, чем у детей и взрослых испытуемых. Вместе с тем, лица, сохранившие свою активность, способны к более точному измерению времени, чем их сверстники, вынужденные вести замкнутый, малоподвижный образ жизни. Однако даже этот контингент испытуемых отмеривает интервалы точнее, чем оценивает, т. е. даже в такой ситуации обратная афферентация от мышц способствует сохранности функции восприятия времени.

Здесь следует отметить важный момент: ошибка оценки длительностей у «пассивных» лиц значительно больше единицы (рисунк). Это может наблюдаться только в том случае, если оценка интервала больше чем вдвое превышает его реальную длительность, что, в свою очередь, является следствием искажения субъективного эталона времени. Так, среднее значение оценки 1-секундного интервала для них составило 5,25 с, а для 10-секундного – 21,33 с.

У лиц, проживающих в интернате, двигательная активность минимальна, субъективный эталон секунды «уплывает», поэтому оценка длительностей оказывается достаточно сложной задачей. Некоторые испытуемые признавались в том, что они уже и не помнят, «какая она, эта секунда. Я давно не имею с ней дела». Чтобы облегчить себе задачу оценки интервалов, эти пожилые люди, как и дети, используют вспомогательные способы отчета времени. Но разница заключается в том, что дети находятся в движении постоянно и таким образом имеют возможность постоянного совершенствования внутренней меры времени, а пожилые люди в интернате такой возможности практически не имеют, поэтому оценивают длительность с более грубыми нарушениями, чем дети. Судя по индивидуальным данным, а также отчетам испытуемых, многие из них с трудом различают близкие в диапазоне длительности, например, 1 и 3 секунды или 7 и 10 секунд, тяготея к качественным оценкам. Вместе с тем переход на категориальную шкалу оценок является, по-видимому, психологически адаптивным механизмом, который обеспечивает ориентацию во времени у лиц с ограниченной подвижностью.

Наибольшая ошибка измерения во всех возрастных группах наблюдается при использовании кросс-модального подбора. Как отмечалось выше, этот метод характеризуется не только выраженной двигательной активностью, но предполагает вовлечение сложных когнитивных процессов (удержание в памяти предъявляемого сигнала, сопоставление длительностей интервалов с длиной нарисованных линий). Установление связей и отношений между длительностью интервала и длиной линии возможно лишь при определенном уровне мышления – абстрактно-логическом (Выготский, 1979). Именно эта специфика метода является причиной вариабельности индивидуальных данных, отмечаемой в литературе (Lupandin, Surnina, 1992; Рихтерман, 1991), и обуславливает значительную по сравнению с другими методами величину относительной ошибки. Относительная ошибка у детей 7–8 лет значительно больше, чем у молодых и «активных» пожилых испытуемых и сопоставима с таковой у «пассивных» пожилых людей. Хотя особенности шкалирования в этом случае у младших школьников и людей с ограниченной двигательной активностью внешне сходны, но причины этого сходства различны. Отсутствие развитого абстрактно-логического мышления у младших школьников является, по-видимому, основной причиной грубых ошибок шкалирования. У пожилых людей, проживающих в интернате, это связано, по-видимому, с распадом представлений о времени вообще и о единицах его измерения, в частности. Не имея возможности корректировать свой внутренний временной эталон

за счет обратной афферентации от проприоцепторов, они утрачивают способность к адекватной оценке времени. Полученные в нашем исследовании результаты подтверждают это: у «активных» пожилых людей функция субъективного измерения времени остается более сохранной, чем у их «пассивных» сверстников. В целом, учитывая универсальную роль двигательной активности в оптимизации жизнедеятельности (Бароненко, 2003; 2003а), вряд ли будет преувеличением сказать, что ограничение движений приводит к формированию искаженного, обедненного образа внешнего мира и, по-видимому, негативно отражается и на высших психических функциях, в том числе мышлении и памяти.

Ошибки в измерении отдельных временных интервалов приводят к формированию субъективных шкал времени, в большей или меньшей степени отличающихся от физических. Как известно, психологический смысл показателя степени, по которому оценивается размерность шкалы, заключается в том, что он указывает на соответствие субъективной шкалы физической. Испытуемый может все интервалы недооценивать или переоценивать, но если эти оценки пропорциональны, то его субъективная временная шкала все равно будет соответствовать физической и показатель степени будет равен единице. Другими словами, система временных отношений у него остается прежней. Другое дело, когда в данном диапазоне одни интервалы недооцениваются (или переоцениваются) больше, чем другие. Такие непропорциональные оценки ведут к искажению шкалы, и показатель степени будет отличаться от единицы (Лупандин, 1989).

Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что наиболее адекватная шкала формируется при использовании «активного» метода отмеривания: здесь величина экспоненты Стивенса ближе к единице по сравнению с другими методами. Таким образом, моторный компонент способствует пропорциональной оценке длительности и формированию шкал, близких к физической. Это характерно для всех испытуемых, за исключением «пассивных» пожилых людей. Здесь более высокое значение показателя степени получено при использовании метода оценки (0,83), хотя и в этом случае шкала оказывается уже физической. Это обусловлено, по всей видимости, высоким процентом испытуемых, грубо нарушающих принцип пропорциональности оценок (12 человек из 30% или 40%). Например, испытуемая М. И. оценила 5-секундный интервал как 11 секунд, 7-секундный как 2с, а 10-секундный как 4с. В большинстве случаев короткие интервалы переоценивались в большей степени, чем длинные, поэтому экспонент Стивенса оказывается меньше единицы.

При отмеривании искажение субъективного измерения выражено в меньшей степени, вариантов ответов здесь больше, ответы более дробные, чем при оценке, поэтому субъективная временная шкала больше соответствует физической. Показатель степени у взрослых молодых испытуемых и «активных» пожилых людей недостоверно отличается от единицы (при $p \leq 0,05$). Низкие значения показателя степени у «пассивных» испытуемых обусловлены в основном недоотмериванием длинных интервалов времени. Так, в среднем величина отмеренного 1-секундного интервала у них равнялась $1,02 \pm 0,4с$, а 10-секундного – $5,6 \pm 1,5с$. С другой стороны, опрос этой группы испытуемых показал, что многие из них перешли на категориальную шкалу и использовали при отмеривании две-три категории длительностей – «короткий-длинный», иногда «средний» интервал. И в том и в другом случае мы наблюдаем проявление эффекта диапазона и как результат – уменьшение величины показателя степени (Лупандин, 1989). Причинами таких искажений могут быть как ухудшение способности к различению предъявляемых стимулов, снижение дифференциальной чувствительности собственных мышечных усилий, так и нарушение когнитивных функций.

Минимальный показатель степени имеет место при использовании кросс-модального подбора, где, как уже упоминалось, важную роль играет не только моторный, но и когнитивный компонент. Особенно низкий показатель степени имеет место у «пассивных» пожилых людей: шкала у них почти в два раза уже физической. Первоклассникам также нелегко дается кросс-модальный подбор, что, по-видимому, обусловлено несовершенством когнитивных механизмов.

Полученные в работе данные убедительно свидетельствуют о том, что активный образ жизни способствует сохранности функции восприятия времени. Стабильность внутреннего времени может рассматриваться как одна из предпосылок высокого интеллекта, от которого в конечном итоге зависит уровень адаптации к окружающей среде.

Заключение

Как известно, у человека нет специального анализатора времени. Восприятие времени осуществляется опосредованно, на основе интермодальной интеграции. Ведущее место среди различных сенсорных систем, обеспечивающих восприятие времени, занимает проприоцептивная система, эволюционное предназначение которой – сигнализировать в центральную нервную систему о происходящих изменениях в положении тела или отдельных его частей, т. е.

о движениях тела. Любые изменения, имеющие место в окружающей среде, в широком смысле слова тоже можно назвать движением. Эти изменения имеют начало, продолжительность и конец, т. е. временные характеристики. Мышечное чувство за счет своей «тягучести» с самых ранних этапов онтогенеза становится той основой, на которой вырабатывается представление о продолжительности происходящих изменений. Постепенно эти представления совершенствуются, и к началу школьного периода у ребенка начинает формироваться, пока еще неустойчивое, представление об общепринятых единицах измерения времени (секунде, минуте и т. д.). Доказательством того, что именно проприоцептивная система лежит в основе этого формирования, является обязательное включение моторного компонента в отсчет временных интервалов у первоклассников. Действительно, в нашем исследовании все дети 7–8 лет при шкалировании временных интервалов прибегали к вспомогательным мерам (покачивали головой, притопывали и т. д.). Для младших школьников, по-видимому, проприоцепция является едва ли не единственной хотя бы частично осознаваемой и контролируемой физиологической основой формирования субъективной меры времени, некоего субъективного временного эталона, которым можно пользоваться при измерении временных интервалов. На самом деле, в реальном мире нет возможности увидеть или услышать секунду (минуту или другую единицу измерения времени) в «чистом» виде, и только мышечное чувство позволяет оценить длительность предпринимаемых усилий. Именно поэтому методы измерения времени, в которых явно выражен моторный компонент, являются наиболее адекватными, особенно в детском возрасте.

Субъективный временной эталон хранится в долговременной памяти человека, постепенно обогащаясь за счет влияния других сенсорных систем, приближаясь к общепринятой единице измерения. Стабильность субъективной меры времени позволяет человеку перейти от категориальных оценок к относительным оценкам времени. Иначе говоря, человек имеет возможность не просто оценить сигнал как «короткий» или «длинный», а оценить его по отношению к другому, т. е. во сколько раз он короче (длиннее), чем другой. Такой принцип позволяет сформировать шкалу временных отношений, свойственную взрослым людям. Размерность такой шкалы оценивается по величине показателя степени. И хотя у взрослых молодых людей показатель степени близок к единице, но использование «активного» метода отмеривания все-таки позволило сформировать шкалу, более соответствующую физической, чем при использовании «пассивного» метода оценки.

Наши исследования показали, что двигательная активность в любом возрасте способствует более адекватному восприятию времени. Это особенно наглядно проявляется у пожилых людей. Те из них, которые сохранили активный образ жизни, обладают способностью к более точному субъективному измерению времени по сравнению со своими сверстниками, вынужденными в силу ряда причин ограничивать свою двигательную активность. У «пассивных» испытуемых функция восприятия времени оказалась менее сохранной, а у некоторых наблюдается возврат к категориальной шкале оценок, характерной для дошкольников. Но даже в условиях ограниченной двигательной активности пожилые люди отмеривают интервалы с меньшей ошибкой, чем оценивают, что еще раз подтверждает роль проприоцепции в шкалировании времени.

Таким образом, двигательная активность способствует не только формированию представлений о времени в детском возрасте, более адекватному его восприятию, но обеспечивает их сохранность в пожилом и старческом возрасте. Иначе говоря, движение является непременным условием сохранности психического здоровья.

ЛИТЕРАТУРА

- Арушанян Э. Б., Боровкова Г. К., Серебрякова И. П. Суточные и недельные колебания длительности индивидуальной минуты у здоровых людей в зависимости от фактора интро-экстраверсии // Физиология человека. 1998. Т. 24. № 2.
- Бароненко В. А. Двигательная активность – ведущий универсальный фактор оптимизации жизнедеятельности и биопрогресса // Валеология. 2003. № 1.
- Бароненко В. А. Культура здоровья студента. Учебное пособие. Екатеринбург: «УГТУ-УПИ», 2003а.
- Блонский П. П. Основные предположения генетической теории памяти // Хрестоматия по общей психологии. Психология памяти / Под ред. Ю. Б. Гиппенрейтер, В. Я. Романова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979.
- Бушов Ю. В., Несмелова Н. Н. Зависимость точности оценки и воспроизведения длительности звуковых сигналов от индивидуальных особенностей человека // Вопросы психол. 1996. № 3.
- Веккер Л. М. Психика и реальность: единая теория психических процессов. М.: Смысл, 1998.
- Выготский Л. С. Память и ее развитие в детском возрасте // Хрестоматия по общей психологии. Психология памяти / Под ред. Ю. Б. Гиппенрейтер, В. Я. Романова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979.
- Лебедева Е. В., Сурнина О. Е. Оценка и отмеривание временных интервалов пожилыми людьми // Матер. юбил. междунар. конф. по нейрокибер-

нетике (25–28 сентября 2002 г., Ростов-на-Дону). Ростов – на-Дону: Рост. гос. ун-т, 2002.

- Леонов А. А., Лебедев В. И. Восприятие пространства и времени в космосе. М.: Наука, 1968.
- Лупандин В. И. Психофизическое шкалирование. Свердловск: изд-во Урал. гос. ун-та, 1989.
- Лупандин В. И., Сурнина О. Е. Субъективные шкалы пространства и времени. Свердловск: Изд-во Урал. гос. ун-та, 1991.
- Моисеева Н. И., Караулова Н. И., Панюшкина С. В., Петров А. Н. Восприятие времени человеком и его роль в спортивной деятельности. Ташкент: Медицина, 1985.
- Новоселова С. Л. Развитие интеллектуальной основы деятельности приматов. М.–Воронеж: НПО МОДЭК, 2001.
- Рихтерман Т. Д. Формирование представлений о времени у детей дошкольного возраста. М.: Просвещение, 1991.
- Сеченов И. М. Рефлексы головного мозга. М.: АН СССР, 1961.
- Сурнина О. Е. Возрастная динамика субъективных шкал времени. Дис. ... докт. биол. наук. СПб., 1999.
- Сурнина О. Е., Зонина Н. В., Коновалова Е. С. Зависимость субъективных шкал длительности от характера заполнения временных интервалов // Проблемы восприятия. Свердловск: Изд-во Урал. гос. ун-та, 1991.
- Сурнина О. Е., Лупандин В. И. Исследование субъективной оценки длительности методом кросс-модального подбора у детей и взрослых // Журн. высш. нервн. деят. 1995. Т. 45. Вып. 3.
- Сурнина О. Е., Лупандин В. И. Роль двигательной активности в восприятии времени у младших школьников // Психологические основы социальной адаптации ребенка. СПб.: Изд-во СПбУ, 1999.
- Сурнина О. Е., Лупандин В. И. Шкалирование временных интервалов у детей 7–10 лет // Север. Школа. Дети: Сб. науч. тр. Архангельск: Поморский гос. университет, 2001. Вып. 3.
- Ухтомский А. А. Доминанта и интегративный образ // Избранные труды. Л.: Наука, 1978.
- Delay E. R., Mathey M. E. Effect of ambient noise on time estimation by humans // Percept. and Motor Skills. 1985. V. 61. № 2.
- Kadlub E. A. Time: language and substance // Percept. and Motor Skills. 1996. V. 83. № 3 (pt. 1).
- Lupandin V., Surnina O. Subjective scales of an "active" and "passive" time // Proc. 8-th Ann. Meeting of the ISP / Eds. G. Borg, G. Neely. Fechner Day' 92. Stockholm, Sweden, 1992.
- Stevens S. S. On predicting exponents for cross – modality matches // Percept. and Psychophys. 1969. V. 6. № 4.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, звание	Место работы	Электронный адрес
Барабанщиков Владимир Александрович	докт. психол. наук, проф., чл.-корр. Академии РАО	Институт психологии РАН, Москва	sbar@psychol.ras.ru
Белопольский Виктор Исаевич	докт. психол. наук	Институт психологии РАН, Москва	vbelop@psychol.ras.ru
Блинникова Ирина Владимировна	канд. психол. наук	Московский государственный лингвистический университет	blinnikova@ru.ru.
Гарусев Александр Владимирович		МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	percept5@mail.ru
Головина Галина Михайловна	канд. психол. наук, доцент	Институт психологии РАН, Москва	gala-galarina@mail.ru
Головина Елена Владимировна	канд. психол. наук	Институт психологии РАН, Москва	lena-liana@mail.ru
Голубинов Виктор Владимирович		Саратовский государственный университет, кафедра психологии	goloubinov@rambler.ru
Греченко Татьяна Николаевна	докт. психол. наук, проф.	Институт психологии РАН, Москва	ngrech@psychol.ras.ru; grecht@mail.ru

Гусев Алексей Николаевич	докт. психол. наук, проф.	МГУ им. Ломоносова, ф-т психологии, Москва	angusev@mail.ru
Дубровский Виктор Ефимович		МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	vicdubr@gmail.com
Жегалло Александр Владимирович	канд. психол. наук	Институт психологии РАН, Москва	zhegs@mail.ru
Жейсснер Эмили (Geissner Emilie)	Ph. D., научный сотрудник	Франс Телеком, г. Ренн, Франция (France Telecom, R&D).	emilie.geissner@orange-ftgroup.com
Измайлов Чингис Абиляфович	докт. психол. наук, проф.	МГУ им. Ломоносова, Москва	ch_izmailov@mail.ru
Коротченко Евгения Александровна		Психологический институт РАО (аспирантка), Москва	zessica@yandex.ru
Лебедева Екатерина Владимировна	канд. психол. наук	Российский гос. профессионально-педагогический ун-т, Екатеринбург	ekaterina@mail66.ru
Лунякова Елизавета Геннадьевна	канд. психол. наук	МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	eglun@mail.ru
Меньшикова Галина Яковлевна	канд. психол. наук	МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	MGJa@rambler.ru
Морозов Владимир Петрович	докт. биол. наук, профессор	Институт психологии РАН	nonverbal@psychol.ras.ru
Носуленко Валерий Николаевич	докт. психол. наук	Институт психологии РАН, Москва	valery.nosulenko@gmail.com
Паризе Этьен (Parizet Etienne)	Ph. D., профессор	Нац. Институт прикладных наук, лаб. вибраций и акустики, г. Лион, Франция (LVA, INSA de Lyon).	parizet@lva-insa-lyon.fr
Петренко Виктор Федорович	докт. психол. наук, проф., член-корр. РАН	МГУ им. Ломоносова, Москва, ф-т психологии	victor-petrenko@mail.ru
Петрович Дарья Леонидовна		Международный славянский институт, единый гуманитарный ф-т, Москва	dlpe@mail.ru

Пронин Сергей Вадимович		Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, СПб.	
Ратанова Тамара Анатольевна	докт. психол. наук, проф.	МГОПУ им. Шолохова	sergevith@ mail.ru
Римская-Корсакова Людмила Красармовна	канд. физ.-мат. наук	ФГУП «Акустический институт им. академика Андреева», Москва	lkrk@akin.ru
Савченко Татьяна Николаевна	канд. пси- хол. наук, доцент	Институт психологии РАН, Москва	msavch@psy- chol.ras.ru
Садов Василий Алексеевич	канд. пси- хол. наук, доцент	ГУГН, Москва	sadov1952@ mail.ru
Селиванова Любовь Андреевна	канд. пси- хол. наук	Институт проблем экологии и эволюции человека им. Северце- ва, Москва	lyubov. selivanova@ gmail.com
Скотникова Ирина Григорьевна	канд. пси- хол. наук	Институт психологии РАН, Москва	iris236@yan- dex.ru
Сурнина Ольга Ефимовна	докт. биол. наук, профессор	Российский гос. профессионально- педагогический ун-т, Екатеринбург	Olga.Surnina@ volumnet.ru
Уточкин Игорь Сергеевич	канд. пси- хол. наук	Гос. ун-т – Высшая Школа Экономики	isutochkin@ inbox.ru
Фореман Н. (Foreman N.)	professor BSc, Ph. D, C. Psychol, FBPsS Psy- chology	Университет Миддле- секс, Лондон (Middlesex University, Queensway, Enfield, London, UK)	n. foreman@ mdx.ac.uk
Харитонов Александр Николаевич	канд. пси- хол. наук	Институт психологии РАН, Москва	ankh@psychol. ras.ru
Хозе Евгений		Институт психологии РАН, Москва	hou-se@mail.ru
Хрисанфова Людмила Аркадьевна	канд. пси- хол. наук	Нижегородский гос. университет им. Ло- бачевского, каф. общ. и соц. психологии	l.hri@sandy.ru
Чихман Валерий Николаевич	канд. тех. наук	Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, СПб.	
Чуприкова Наталья Ивановна	докт. психол. наук	Психологический институт РАО	
Шпагонова Наталия Григорьевна	канд. пси- хол. наук	Институт психологии РАН, Москва	shpagonova@ mail.ru
Шелепин Юрий Евгеньевич	докт. биол. наук, проф.	Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, СПб.	yshelepin@ yandex.ru

Научное издание

Серия

«Экспериментальные исследования»

СОВРЕМЕННАЯ ПСИХОФИЗИКА

Редактор – *О. В. Шапошникова*

Оригинал-макет и верстка – *С. С. Фёдоров*

Корректор – *И. В. Клочкова*

Лицензия ЛР № 03726 от 12.01.01

Издательство «Институт психологии РАН»

129366, Москва, ул. Ярославская, 13

Тел.: (495) 682-51-29

E-mail: rio@psychol.ras.ru

www.ipras.ru

Сдано в набор 15.05.09. Подписано в печать 20.08.09

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная

Гарнитура ГТС СНАТТЕР. Усл. печ. л. 34. Уч.-изд. л. 27

Тираж 800 экз. Заказ .

Отпечатано с готовых диапозитивов в ППП «Типография „Наука“»
121099, Москва, Шубинский пер., 6

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА ИНСТИТУТА ПСИХОЛОГИИ РАН

2009

- Познание и общение: Теория, эксперимент, практика / Под ред. В. А. Барabanщикова и Е. С. Самойленко. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2008. – 235 с.
- Прохоров А. О. Смысловая регуляция психических состояний. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – 352 с.
- Тарабрина Н. В. Психология посттравматического стресса: Теория и практика. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – 304 с.
- Барabanщиков В. А. Восприятие выражений лица. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – 448 с.
- Психологические исследования: Вып. 4 / Под ред. А. Л. Журавлева, Е. А. Сергиенко. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – 256 с. (Труды молодых ученых ИП РАН)
- Макропсихология современного российского общества / Под редакцией А. Л. Журавлева, А. В. Юревича. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – 256 с. (Психология социальных явлений)
- Митькин А. А. Пути психологического поиска. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – 256 с. (Достижения в психологии)
- Психология сегодня: теория, образование и практика / Под ред. А. Л. Журавлева, Е. А. Сергиенко, А. В. Карпова. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – 688 с.

2008

- Барabanщиков В. А., Белопольский В. И. Стабильность видимого мира. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2008. – 300 с.
- Сушков И. Р. Психологические отношения человека в социальной системе. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2008. – 412 с.
- Попов Л. М., Голубева О. Ю., Устин П. Н. Добро и зло в этической психологии личности. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2008. – 240 с.
- Купрейченко А. Б. Психология доверия и недоверия. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2008. – 571 с.
- Речь ребенка: Проблемы и решения / Под ред. Т. Н. Ушаковой. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2008. – 352 с.
- Когнитивные исследования: Сборник научных трудов: Вып. 2 / Под ред. В. Д. Соловьева, Т. В. Черниговской. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2008. – 320 с. (Когнитивные исследования)
- Проблемы фундаментальной и прикладной психологии профессиональной деятельности / Под ред. В. А. Бодрова, А. Л. Журавлева. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2008. – 589 с. (Труды Института психологии РАН)