

15

Б-436

На правах рукописи



БЕЛОПОЛЬСКИЙ Виктор Исаевич

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА И ДИНАМИКА
ВЗОРА ЧЕЛОВЕКА**

**Специальность 19.00.01 — общая психология, психология
личности, история психологии**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора психологических наук**

Москва — 2008

Работа выполнена в Институте психологии РАН

Официальные оппоненты:

доктор психологических наук,
профессор, член-корреспондент РАО

Панов Виктор Иванович

доктор психологических наук, профессор

Прохоров Александр Октябрьевич

доктор психологических наук

Обознов Александр Александрович

Ведущая организация:

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

Защита состоится « 09 » октября 2008 в 12 часов на заседании диссертационного совета Д002.016.02 при Институте психологии РАН по адресу: 129366 Москва, ул. Ярославская 13.

ститута психологии РАН.

Т.Н. Савченко

Актуальность исследования. Посредством зрения человек получает большую часть информации о внешней среде. Зрение обеспечивает человеку ориентировку в пространстве, участвует в построении образов предметов и целостной картины мира, а также направляет его поведение. Усилиями представителей разных наук — физики и биологии, философии и психологии, медицины и кибернетики собран богатейший фактический материал о структуре и функциях зрительной системы, а также о механизмах, обеспечивающих ее функционирование. Вместе с тем, несмотря на несомненные успехи и мощный методический арсенал, используемый исследователями, некоторые *принципиальные проблемы формирования и функционирования зрительного образа до сих пор не имеют общепринятого решения и остаются предметом интенсивных дискуссий.* К ним относится, прежде всего, проблема активности зрительного восприятия, тесно связанная с представленным о зрительных направлениях и, в частности, с понятием *взора человека.*

Традиционно направление зора связывалось с пространственной ориентацией сетчатки глаза (идея «фовеального зора»), которая рассматривалась как анализатор светового потока или, в современных терминах, как настроенный на световые раздражители сенсорный канал. Исследователи приложили немало усилий, чтобы найти передаточную функцию этого канала, обеспечивающую simultaneity и панорамность зрительного восприятия (Логвиненко, 1981). Однако неподвижная сетчатка — это абстракция. Еще в конце 19-го века стало ясно (Max, 1907; Helmholtz, 1866; Hering, 1879; Сеченов, 1877/1952; Ланге, 1893; Sherrington, 1918), что ни феноменологию, ни развитие, ни регуляторные функции зрения нельзя понять в отрыве от мобильности аппарата зрения — глаза. Мобильная же сетчатка ставит перед исследователями целый ряд сложных вопросов, связанных с необходимостью перекодирования зрительных направлений и интеграцией отдельных пространственных образов в целостный, стабильный образ внешнего пространства.

Широкое распространение получил подход, привлекающий для объяснения феноменов пространственного восприятия дополнительный, экстрасетчаточный источник информации о позиции и движении глаза (Э.Мах, Г.Гельмгольц, Г.Геринг, Ю.Б.Гишпенрейтер, Р. Грегори, Б.Х.Гуревич, И.П.Сеченов, Р. Сперри, Н.Ланге, А.Н.Леонтьев, Х. Миттельштат, Д. Тойбер, Э. фон Хольст, Ч. Шеррингтон), однако при этом недостаточно выясненной остается природа этого сигнала (проприоцептивный или эфферентный), его метрика, а также пространственная система отсчета (ретинальная, эгоцентрическая или экзоцентрическая), относительно которой учитывается вся пространственная информация.

В русле другого подхода (Дж. Гибсон, Л. Мятрани, Дж. Маккей, Г. Юханссон) в качестве единицы анализа выбирается сенсорное событие, протекающее на временном отрезке до, во время и после движения глаз, но в этом случае за рамками рассмотрения оказываются не только причины, но и закономерности управления системой позиционирования глаза, включающей движения глазного яблока в координатах головы, подвижность головы относительно туловища и самого туловища относительно внешних объектов.

Можно констатировать, что до сих пор не удалось преодолеть противопоставление «сенсорных» и «моторных» теорий зрительного восприятия, свидетельством чему являются не нашедшие пока однозначного решения, но такие важные для общей теории зрительного восприятия вопросы, как взаимоотношение понятий зора и зрительного пространственного внимания, зора и функционального поля зрения, зора и фиксации, соотношение динамики зора и различных форм глазоподвижной активности.

Изучение функциональной структуры зора, его природы, метрики и динамики имеет и важное практическое значение, в частности, для анализа познавательной и исполнительной деятельности человека, а также для медицины, поскольку регистрация глазоподвижной активности широко используется как метод объективации зрительной деятельности при решении различного рода задач, а также как метод выявления аномального функционирования тех или иных мозговых структур. Существующая же в настоящее время методология реконструкции психических процессов по записям движений глаз страдает определенными недостатками, не позволяющими однозначно судить о содержательных аспектах деятельности человека.

Методологические и теоретические основания исследования

В основе работы лежат несколько фундаментальных идей и подходов.

Прежде всего, это принцип активности в психологии. В преломлении к проблеме чувственного восприятия это рефлекторная традиция, идущая с И.М. Сеченова, указывающая на важнейшую роль моторики в «объективации» зрительного образа внешней среды, его дифференциации с последующей интеграцией. Эта традиция получила развитие в работах Б.Ф. Ломова, А.Н. Леонтьева, А.В. Запорожца, В.П. Зинченко, Ю.Б. Гипшенрейтер, Б.Х. Гуревича, Л.И. Леушиной, А.А. Митькина, Б.М. Величковского, В.А. Барabanщикова, а также, Д. Хэбба, Л. Старка, Р. Грегори и др. В рамках этого подхода сформулированы, в частности, «моторные теории восприятия», в которых движениям глаз относится роль операций или действий, включенных в ход решения

текущей перцептивной задачи, а также важнейшее понятие перцептивной системы (Дж.Гибсон, В.А.Барабанщиков).

Другая традиция, на которую мы опирались, это подход к моторике глаза как к биологической системе автоматического регулирования (П.К.Анохин, Р.Юнг, Э. фон Хольст, Х.Миттельштадт, Д.Робинсон, А.Н.Бернштейн, Н.Ю.Вергилес, Р.Янг, А.Бэхилл, А.Р.Шахнович, А.Ярбус и др.). Описание этой системы в терминах управляющего сигнала прямой и обратной связи, быстродействия, переходного процесса, адаптивности, коэффициента усиления, времени задержки и т.п. позволяет строить ее функциональные модели, предсказывать ее состояние в конкретных условиях функционирования, проследить этапы ее онтогенетического становления и искать обеспечивающие ее работу нейрофизиологические механизмы. В этом контексте чрезвычайно важны наблюдения, экспериментальные факты и теоретические обобщения, накопленные в русле исследований генезиса зрительного восприятия и движений глаз (К. фон Хофстейн, Э. Гибсон, А.М.Фонарев, Т. Бауэр, А.А. Митькин, Ж. Пиаже, Е.А.Сергиенко, А.В.Запорожец, Л.А. Венгер).

Объект исследования: зрительная система человека в единстве ее сенсорных, перцептивных и двигательных компонентов.

Предмет исследования: феномен человеческого зора.

Цель исследования: изучение функциональной структуры зора человека, его природы, метрики, динамики и его места в системе познавательных и двигательных процессов.

Согласно основной гипотезы пространственно-временная динамика зрительного восприятия, ее становление, развитие и функционирование не могут быть сведены к закономерностям работы системы моторного позиционирования сетчатки глаза. Идея «фовеального зора» противопоставлено представлению о зоре человека как особом функциональном органе, обладающем позиционным чувством (позиция визуального эгоцентра) и обеспечивающем пространственную селективность и пространственно-временную непрерывность процесса зрительного восприятия. Предполагается, что динамика зора (внимания, фокуса сознания) обеспечивается надсетчаточным перцептивным механизмом, который оперирует не в системе координат сетчатки, а в координатах внешнего пространства; при этом моторная подсистема позиционирования зора выполняет вспомогательные функции, связанные с оптимизацией условий считывания информации в зоне актуальной направленности зора. В силу этого, выделение единиц зрительной деятельности должно строиться не на кинематических формах движений глаз, а исходя из циклов управления зором.

Задачи исследования:

1. Собрать и систематизировать данные, противоречащие идее «фовеального зора».
2. Исследовать позиционную динамику зора и ход зрительного процесса в условиях, когда глазодвигательная система (ГДС) работает с систематической позиционной и временной ошибкой (изменение величины зрительной обратной связи).
3. Исследовать возможности управления зором в условиях функциональной неэффективности глазодвигательной системы (сетчаточная стабилизация изображения).
4. Изучить природу позиционного чувства зора в контексте проблемы стабильности видимого мира.
5. Выделять базовые пространственно-временные стратегии зрительного пространственного внимания (зора), связанные обнаружением и фиксацией объектов.
6. Оценить роль торзионных и вергентных движений глаз в системе пространственной ориентации зора человека.
7. Изучить пространственные стратегии зора при обработке лингвистической информации в процессе чтения и поиска в зависимости от условий предъявления и уровня сформированности навыка чтения.
8. Сформулировать концепцию зора человека как функционального органа пространственного восприятия, описать его структуру, функции и место в системе перцептивной, когнитивной и общедвигательной активности человека.

Аппаратурные методы исследования:

1. Методика двухкоординатной регистрации движений глаз (электромагнитный, роговичный инфракрасный блик и электроокулографический методы), используемая для объективизации пространственной и временной динамики зора.
2. Методика регистрации торзионных движений глаз и головы (фотоэлектрический метод) для измерения компенсационных механизмов в системе стабилизации зора относительно субъективной вертикали.
3. Контактные оптические приборы, устанавливаемые непосредственно на глазное яблоко, для изменения величины зрительной обратной связи в глазодвигательной системе и для ограничения зоны эффективной афферентации сетчатки глаза.
4. Компьютерная («Butterfly», «Tiltler»), проекционная и электромеханическая системы для тахистоскопического и динамического предъявления визуальной информации.
5. Метод ЭЭГ для регистрации потенциалов мозга, событийно связанных с движениями глаз в процессе зрительного восприятия.

Исследовательские процедуры

1. Анализ кинематических (амплитуда, скорость, ускорение), временных и системных (коэффициент усиления, коэффициент прямой и обратной связи) параметров моторной активности глаз, головы и туловища при выполнении различного рода задач.
2. Трансформация зрительной обратной связи в глазодвижительной системе и системе управления движениями головы.
3. Стабилизация рассматриваемого изображения (локальные объекты, реальная сцена, органы тела) относительно сетчатки глаза методом последовательных образов.
4. Психофизические («границ», «да-нет», «установки») методы для определения пороговых значений точности перцептивной деятельности в задачах опознания, идентификации, обнаружения и чтения.
5. Хронометрические (тахистоскопия, «выигрыш-проигрыш») методы для измерения временных показателей перцептивной деятельности в условиях варьирования вероятностной структурой предъявляемой стимуляции.
6. Феноменологический метод для оценки позиционной стабильности взора при трансформации естественных зрительно-моторных связей в глазодвижительной системе.
7. Электрофизиологический метод регистрации связанного с саккадами мозгового потенциала в режиме непрерывной работы с лингвистической информацией.

При статистической обработке данных использованы: методы фазово-частотного и амплитудно-частотного анализа, дисперсионный анализ (ANOVA, MANOVA), субъективное шкалирование, параметрические и непараметрические процедуры анализа и сравнения характеристик распределения эмпирических данных; корреляционный и факторный анализ.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Взор человека представляет собой перцептивно-моторный функциональный орган, посредством которого реализуется его активность, связанная с пространственной ориентировкой, поиском и локализацией информативных объектов, фокусировкой зоны зрительной обработки, управлением движениями рук и локомоцией, разнообразными коммуникативными задачами. Взор человека представлен в видимой картине мира в форме зрительного эгоцентра (я смотрю, фокусирую, вижу, фиксирую, слежу и т.д.) и оперирует в метрике внешней пространственной системы отсчета, а в

случае ее редукция, противоречивости или отсутствия — в эгоцентрической системе отсчета.

2. Взор включает такие размерности как вектор направления, ширина зоны актуальной зрительной обработки (4 пространственных измерения: вертикаль, горизонталь, удаленность и ориентация относительно гравитационной вертикали), степень напряжения и временная ритмика, количественные параметры которых меняются закономерным образом, подчиняясь логике решаемых человеком задач и опираясь на характеристики пространственно-энергетического распределения потока визуальной стимуляции. Динамика взора обеспечивается посредством автоматизированных перцептивно-моторных операций (пространственно-временных стратегий), которые лишь частично поддаются сознательному контролю.
3. Двигательные компоненты взора (движения глаз, а также головы и туловища) выполняют важные, но вспомогательные функции в системе позиционирования взора, а также в создании оптимальных условий для функционирования зрительных механизмов различения, идентификации и опознания. Тесная связь между движениями глаз и пространственно-временной динамикой взора не является доказательством их тождества; это подтверждается, кроме несоответствия их размерностей, фактами временного сдвига и пространственного рассогласования между смещением взора и движением глаз, а также возможностями смешать взор без движения глаз и двигать глазами без изменения позиции взора.
4. Операциональной единицей динамики перцептивного процесса является цикл управления взором. Номенклатура этих циклов достаточно широка и включает фиксацию (пристальную или расслабленную), перевод взора на новый объект, поисковые, контролирующие, прослеживающие движения взора и т.д. (список далеко не полный). Поэтому реконструкция этапов перцептивного процесса по записям движений глаз должна опираться не на отдельные кинематические единицы глазодвигательной активности (скачки, дрейфы, плавные движения, нистагм и т.д.), а использовать паттерны глазодвигательной активности, соответствующие тому или иному циклу управления взором.
5. Цикл управления взором включает генерацию интенционального (центрального, волевого, data-driven) или ориентировочного (внешнего, произвольного, stimulus-

driven) командного сигнала для изменения параметров взора и обратную связь об изменениях в перцептивной картине мира, связанных с выполнением этой команды и, в частности, с движениями глаз. Собственно глазодвигательная система оперирует на уровне ретино-моторных отношений, отслеживая фoveальной областью сетчатки задаваемый взором позиционный сигнал рассогласования и оптимизируя свои кинематические характеристики в соответствии с требованиями перцептивного процесса. Такая функциональная структура взора человека предполагает, что существующее зрительному эгоцентру позиционное чувство относится к пространственной позиции взора, а не глаза как анатомического органа.

Научная новизна и теоретическая значимость исследования

В диссертации обоснована и сформулирована оригинальная концепция взора человека, ассимилирующая и интегрирующая богатейший эмпирический материал, накопленный в разных областях знаний: философии, психологии, физиологии и анатомии, кибернетики и робототехнике. Взор человека описан как функциональный перцептивно-моторный орган, орган «живого» движения (по А.Н. Бернштейну), управляющий выбором локуса активной зрительной переработки в презентированной наблюдателю стабильной и безграничной картине видимого мира.

Для доказательства правомерности и эвристичности такого понимания взора человека:

1. Разработаны новые исследовательские методы: оптический метод изменения величины зрительной обратной связи, фотоэлектрический метод регистрации торзионных движений глаз, метод динамического предъявления символической информации на экране дисплея, метод измерения связанных с саккадами мозговых потенциалов в условиях непрерывной деятельности.
2. Получены новые экспериментальные факты, опровергающие концепцию «фовеального взора». Доказано, что моторика глаза работает как следящая система позиционного контроля и что ее единственной функцией является оптимизация условий восприятия текущей визуальной информации. Быстродействие и конкретная кинематическая форма переходного процесса в глазодвигательной системе зависят от параметров сигнала на ее входе и величины зрительной обратной связи.
3. Получены решающие доказательства в пользу существования *единого* механизма зрительной ориентации, пространственно-временная динамика которого и задает сигнал на входе глазодвигательной системы. Выделены базовые формы такого рода динамики и соответствующие им паттерны глазодвигательной активности.

4. Установлены различия в динамике процессов общей активации внимания и процессов ориентировки зрительного пространственного внимания, которые по-разному влияют на эффективность перцептивной деятельности.

5. Получены и исследованы новые феномены нарушения константности локализации и положения объектов в процессе движений глаз и сформулированы принципы новой теории стабильности видимого мира.

6. Впервые в натуральных экспериментах, условия которых включали действие гравитационноверсионных сил, зарегистрированы торзионные движения глаз и выявлен их вклад в восприятие субъективной вертикали.

7. Получены новые данные, опровергающие гипотезу о конвергенции как источнике информации об удаленности предметов.

8. Проведена работа по уточнению и частичной переформулировке ряда понятий и терминов, используемых для описания зрительной деятельности человека.

Практическая значимость: В диссертации представлены рекомендации для более эффективного использования метода регистрации движений глаз для анализа хода психических процессов при выполнении различных практических задач. Сформулированы требования к оптимизации условий предъявления динамической текстовой информации на экране монитора для повышения качества и скорости чтения у слабовидящих, у детей, страдающих дислексией, а также у операторов ЭВМ. Результаты и выводы работы имеют важное значение для построения информационных систем отображения пространственной информации, систем искусственного зрения, оптикопротезирования и создания систем зрительного управления внешними устройствами.

Конкретные примеры практического внедрения результатов диссертационной работы:

- Сформулированы рекомендации по оптимизации деятельности операторов, управляющих сложными движущимися объектами, операторов, работающих в условиях гравитационноверсионных воздействий, авиадиспетчеров.

- Сделан расчет эффективности восприятия наружной рекламы в разных условиях наблюдения (статических и динамических), на основе которого созданы действующие образцы рекламных носителей.

- Создана компьютерная обучающая программа «Учебник по психологии эффективного чтения с тренажером».

Апробация и внедрение результатов исследования

Промежуточные результаты работы докладывались на российских и международных конференциях: на Всесоюзном съезде психологов (Москва, 1977), на Всемирных конгрессах психологов (XXII — ГДР, Лейпциг, 1980 и XXVI — Канада, Монреаль, 1996), VIII Закавказской конференции по психологии (Ереван), на Всероссийской конференции по чтению (Москва, 1992), на 5 международной научно-практической конференции по психологии и педагогике чтения (Москва, 1995), на Всероссийской конференции по инженерной психологии (Ленинград, 1984), на XXI Гагаринских чтениях по авиации и космонавтике (Москва, 1991), на Всесоюзной научно-практической конференции «Психолого-педагогические проблемы обучения технике чтения, смысловому восприятию и пониманию текста» (Москва, 1989), на конференции «Автоматизированные системы реального времени для эргономических исследований» (Тарту, 1988), на конференции «Вопросы психологии межличностного познания» (Краснодар, 1985), на Европейских конференциях по зрительному восприятию (Израиль, 1989; Великобритания, 1990; Вильякс, 1991), на Международной конференции по взаимодействию человека и компьютера Запад-Восток (Санкт-Петербург, 1994), на 5-м международном конгрессе по психофизиологии (Венгрия, Будапешт, 1990), на конференциях Европейского общества когнитивной психологии (Дания, Копенгаген, 1993; Италия, Рим, 1995; Германия, Вюрцбург, 1996; Израиль, Иерусалим, 1998), на 9 Европейской конференции по движениям глаз (Германия, Ульм, 1997), на семинаре «Суперкомпьютеры в исследованиях мозга: от томографии к нервным сетям» (Германия, Юлих, 1994), международном семинаре «Нейрокомпьютеры и внимание» (Пушино, 1989), на 6-ом Международном симпозиуме «Управление движениями» (Болгария, Албена), на 3-ем Советско-финском симпозиуме по психофизиологии (Москва, 1988), на конференции «Компьютеры в психологии» (Вашингтон, США, 1993), на ежегодной конференции Психонормического общества (Вашингтон, США, 1993), на конференции «Психофизика сегодня» (Москва, 2006), на всероссийской конференции «Тенденции развития современной психологической науки» (Москва, 2007), на итоговых научных сессиях и заседаниях ученого совета ИПРАН, методологических семинарах и заседаниях лаборатории системных исследований психики ИПРАН.

Результаты работы включены в справочное руководство по психологии «Современная психология» (М.: Инфра-М, 1999), учебник для вузов «Психология XXI века» (М.: ПЕР СЭ, 2003), в программу учебного курса «Экспериментальная психология» и спецкурса «Восприятие событий», прочитанных на факультете психологии МГУ им. М.В.Ломоносова.

Исследования, вошедшие в диссертацию, были поддержаны грантами следующих организаций:

DAAD, РФФИ, РГНФ, РОСНИИС, Культурная инициатива, фонд СОРОСА, NSF.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 79 работ общим объемом более 90 авторских листов. В их числе 2 монографии, 1 методическое руководство, 13 статей, опубликованных в научных журналах, рекомендованных ВАК, 27 статей в других журналах и книгах, 36 тезисов докладов.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Объем работы — 404 страниц в ней 96 рисунков и 14 таблиц. Список цитированной литературы содержит 650 источников, 497 из них на иностранном языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении раскрывается актуальность и новизна работы, подчеркивается противоречивость тех объяснительных принципов, которые лежат в основе современных представлений о микро- и макродинамике перцептивного акта. Формулируется гипотеза в цели исследования, ставятся конкретные экспериментальные задачи, перечисляются научная и практическая значимость работы, перечислены положения, выдвигаемые на защиту. Приводятся данные об апробации результатов исследования.

Глава 1. Зрительное восприятие пространства и моторика глаз.

Проблема активного зрения

Констатируется, что, несмотря на более чем полуторавековую историю вопроса, огромный эмпирический материал, серьезные достижения в создании регистрирующей и анализирующей аппаратуры, сохраняет актуальность тот круг вопросов, который был поставлен еще классиками сенсорной физиологии: Г. Гельмгольцом, Г. Герингом, И.М. Сеченовым, Ч. Шеррингтоном, а также психологами — В. Джемсом, В. Вундтом, Н.Н. Ланге и другими. Прежде всего, это вопрос о связи механизмов собственно зрительной переработки информации с моторной составляющей этого процесса, с движением глаз. Анализ различных теорий, приписывающих моторике либо пассивную (установка,

рефлекс), либо активную (чувственная канва образа, перцептивное действие), либо тестирующую (дезадаптация, источник проективных трансформаций) роль в процессе зрительного восприятия, показал наличие разрыва в объяснении структуры целостного перцептивного акта, перцептивного события, простирающегося за пределы одной фиксации или одного двигательного акта. Исследователи, изучающие глазодвигательную систему как таковую, концентрируются на переходном процессе этой системы в ответ на сигнал рассогласования, поданный на ее вход, и просто подразумевают существование неких зрительных механизмов, отвечающих выбор цели, определяющий этот сигнал. С другой стороны, исследователи, использующие паттерны глазодвигательной активности для реконструкции познавательных процессов, участвующих в решении тех или иных зрительных задач, рассматривают каждую межсаккадическую паузу как этап съема информации с того места пространства, куда направлена центральная зрительная ось глаза, а в качестве детерминант поворотов глаз рассматривают факторы, связанные со стимулирующей (структура, интенсивность, новизна, выделенность из фона), типом задачи, интенцией и т.п., не конкретизируя, каким образом сформировался сигнал для поворота глаз именно на этот, а не на другой объект в поле зрения.

Проведенный анализ показал, что в литературе описан целый ряд устойчивых представлений и терминов, относящихся к функционированию макродинамики перцептивного процесса, т.е. процесса, простирающегося за пределы единичного глазодвигательного акта, которые нуждаются в уточнении, переформулировке или даже в кардинальном пересмотре.

Традиционный ретиноцентрический подход пытается решить эту проблему за счет удвоения зрительных пространственных механизмов — центрального и периферического, функционирующих одновременно и независимо друг от друга.

Однако очевидная и многократно подтвержденная целенаправленность траектории движений глаз указывает на необходимость содержательной взаимосвязи и пространственно-временного перекрытия этих двух направлений зрительной активности.

Противоречивость традиционного представления о пространственной динамике зрительного восприятия можно продемонстрировать на примере существующих классификаций движений глаз. С этой целью используются критерии 2 типов.

С одной стороны, это формально-динамические параметры движений глаз:

- Амплитуда (макро- и микродвижения)
- Кинематический тип (саккады, плавные движения, дрейф, нистагм, тремор)
- Направление (горизонтальные, вертикальные, торзионные)

- Степень сопряженности моторики двух глаз (верзионные и вергентные)

С другой стороны, это психологические критерии:

- Степень осознанности (произвольные, полупроизвольные и непроизвольные)
- Функциональная значимость для зрения (дезадаптирующие, компенсационные, уставовочные, фиксационные, сканирующие, поисковые, следящие, обводящие, измеряющие, копирующие и т.п.).

При этом попытки сопоставить формально-динамические параметры движений глаз с элементарными актами восприятия, выделяя таким образом моторные единицы анализа содержательной перцептивной деятельности, не выглядят достаточно убедительными. Так, часто считают, что все саккады осуществляются как отдельные произвольные акты. При этом оговариваются, что некоторые малоамплитудные саккады, включенные в акт поддержания устойчивой фиксации, относятся к разряду непроизвольных. Более того, и достаточно большие саккады, корректирующие точную первую саккаду из фиксационного поворота, также считают непроизвольными. Непроизвольными считают и высокоамплитудные саккады, включенные в процесс слежения за движущимся объектом, и саккады в структуре оптикинетического и патологического нистагма.

Другими примерами недостаточной обоснованности и противоречивости традиционной точки зрения на соотношение пространственной динамики локуса зрительной переработки (внимания, взора) и динамики движений глаз (соответственно, фoveальной оси сетчатки) являются также представления как баллистический характер саккадических движений глаз, рефрактерный период глазодвигательной системы в интервале между саккадами, точное соответствие между зрительным углом до цели и углом саккадического поворота глаза на эту цель. Все эти представления подвергаются критике в свете современных данных, полученных с использованием новых экспериментальных парадигм, таких как метод пульсовых и двойных пульсовых стимулов и методов изменения зрительной обратной связи.

На основании проведенного анализа ставится цель исследования, формулируется его основная гипотеза и задачи (См. соответствующие параграфы из раздела Введение).

Во второй главе излагаются методические подходы, процедуры и результаты экспериментальных исследований, посвященных выяснению закономерностей функционирования глазодвигательной системы и ее роли в управлении зрением человека.

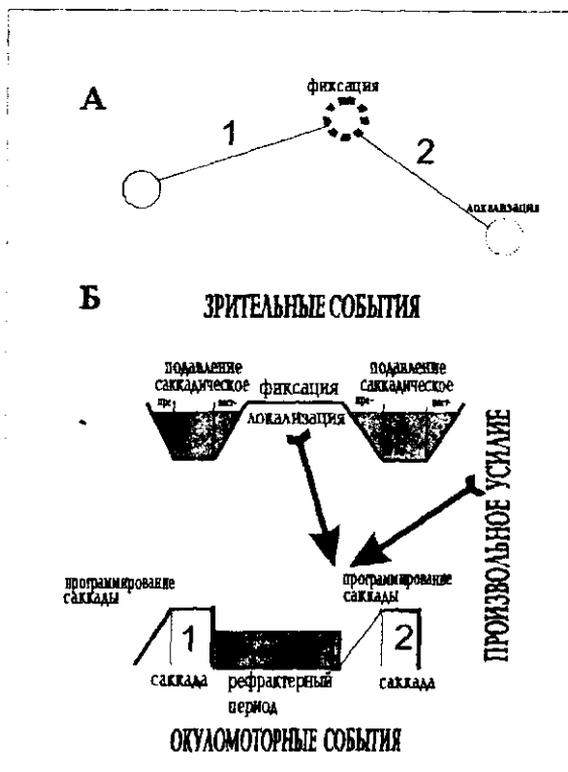


Рис.1. Пространственная (А) и временная (Б) диаграммы зрительной и моторной динамики, иллюстрирующие традиционное представление об организации процесса избирательной направленности локуса восприятия (взора)

Зрительная и глазодвигательная системы работают в дискретном режиме: непосредственно до, после и во время саккады происходят торможение зрительных процессов; при этом в течение первых 200 мс межсаккадической паузы вход глазодвигательной системы закрыт для поступления зрительной информации. Для организации целенаправленной саккады 2 необходимо допустить, что процесс «актуальной» фиксации сопровождается процессом локализации объекта будущей фиксации, либо предположить прямое произвольное управление движениями глаз.

Глава 2. Сенсомоторные и perceptивные механизмы управления взглядом

В серии экспериментов, изложенных в параграфе 2.1, проверяли принципиальное положение постулата «фовеального взгляда», согласно которому направление взгляда всегда совпадает с направлением главной зрительной оси, восстановленной из центра сетчатки. Формализованное описание допущений, вытекающих из постулата «фовеального взгляда», содержится в дискретной модели Янга и Старка (1962, 1963, 1968), которая исходит из того, что амплитуда каждой саккады точно соответствует величине визуального угла до цели, а зрительный вход ГДС имеет рефрактерный период порядка 200 мс после окончания саккады. Единицей анализа служил фиксационный поворот, т.е. переход взгляда с одного объекта на другой, находящийся от первого на некотором расстоянии.

Разработанный для этих целей (совместно с Н.Ю.Вергилесом) новый метод оптической трансформации величины зрительной обратной связи (Барабанщиков, Белопольский, Вергилес, 1978) обладает рядом преимуществ перед другими существующими методами (внешние оптические системы, оптические рычаги, электронное правление положением стимула на экране дисплея сигналом от перемещения глаза) и позволяет разворачивать отдельный фиксационный поворот глаз во времени и пространстве. При использовании этого метода ГДС начинала работать с систематической ошибкой — либо с «перерегулированием» (при $K_{обр} > -1$), или с «недерегулированием» (при $K_{обр} < -1$).

Эксперименты по регистрации движений глаз при ступенчатом возвратно-поступательном смещении световой точки в темноте позволили получить данные 1) о расширенном (относительно прогноза дискретной модели) диапазоне устойчивости ГДС; 2) о наличии адаптационных процессов в ГДС; 3) о появлении в фиксационном повороте на стационарные стимулы как саккадических, так и плавных движений глаз, выполняющих одну и ту же функцию; 4) о зависимости частоты, при которой происходит срыв прослеживания периодического прямоугольного сигнала, от величины $K_{обр}$. Взяты вместе, эти результаты убедительно свидетельствуют против представления о дискретном принципе управления ГДС и в пользу утверждения о непрерывности поступления сигнала зрительной обратной связи на вход ГДС, причем время «чистой» задержки на прохождение информации по внутреннему контуру ГДС, по-видимому, не превышает 40 мс, что позволяет этому сигналу включиться в перепрограммирование даже самых быстрых саккадических движений глаз.

Фиксационный поворот глаза, который в наших экспериментах мог состоять из нескольких окуломоторных актов, характеризует переход ГДС из неустойчивого состояния в устойчивое. В то же время переход ГДС из устойчивого состояния в неустойчивое не является собственно параметром ГДС (ее латентностью), а относится скорее к тем процессам и механизмам, которые опосредуют работу ГДС и ответственны за выбор объекта регулирования.

В случае единственного светового объекта в полной темноте, при неожиданном появлении объекта или при движении объекта по периферии поля зрения автоматически срабатывает биологически закрепленная реакция зрительной фиксации, что и влечет за собой соответствующий ответ ГДС. В то же время фундаментальный факт состоит в том, что в условиях рассматривания сложного, структурированного изображения глаз не застревает в оптическом или структурном центре изображения и не «прилипает» к тому или иному объекту, а свободно перемещается по изображению, последовательно останавливаясь на наиболее информативных его участках, определяемых задачей (Ярбус, 1959).

В связи с этим значительный интерес представляет ситуация, когда наблюдатель, ГДС которого работает в режиме измененной по величине зрительной обратной связи, должен решать перцептивные задачи в условиях естественного, а не обедненного зрительного окружения.

Результаты проведенных по этой схеме экспериментов показали, что сама по себе оптическая структура существенно не влияет на характер фиксационных поворотов, но при этом работа ГДС по точному наведению фовеальной области сетчатки на объект фиксации, являющаяся ее основной биологической функцией, находится под контролем функциональной системы более высокого порядка, а именно, зрительно-гностической системы, определяющей динамику смены объектов фиксации в соответствии с требованиями задачи и ходом ее решения. Ведущая роль перцептивного процесса по отношению к фиксационному повороту глаз проявляется прежде всего во влиянии операциональных и пространственных характеристик продуктивного акта восприятия на точность и продолжительность фиксационного поворота, а также в том, что завершение акта восприятия приводит к окончанию данного поворота безотносительно к тому, куда направлена в данный момент фовеальная область сетчатки.

Гипотезу о том, что активная, опосредующая роль зрительного восприятия по отношению к ГДС проявляется в выделении, удержании и смене объекта регулирования проверяли в серии экспериментов, описанных в параграфе 2.2. Изучались кинематические и пространственные характеристики движений глаз в ответ на произвольное

управление зоной внимания (взора) при рассматривании одиночных и множественных амбивалентных изображений, стабилизированных относительно сетчатки глаза ($K_{обр} = 0$). Чтобы исследовать степень произвольности селективного внимания и соответствующих движений глаз от структуры оптической стимуляции использовали как «равновесные» (в позиционно-энергетическом смысле), так и неравновесные стимульные структуры. Стабилизация изображений достигалась методом последовательных образов.

Результаты показывают, что возможности пространственной настройки зоны внимания не ограничены позицией глаз в тот или иной данный момент времени и лишь частично ограничены структурой оптической стимуляции. Зона внимания может избирательно «накладываться на любой из локальных объектов, либо на целую группу объектов, и ГДС в автоматическом режиме обрабатывает сигнал, соответствующий сетчаточным координатам центра зоны внимания. Фиксируемый объект может занимать в зоне внимания как центральное, так и асимметричное положение, причем степень этой асимметрии меняется в широких пределах. Изменение пространственной позиции зоны внимания происходит плавно, хотя скорость перемещения центра зоны внимания может варьировать в широком диапазоне. Таким образом, подтверждается гипотеза, что динамика зоны внимания (взора) совпадает по своим пространственным и временным характеристикам с динамикой зоны съема содержательной визуальной информации и задает целевой стимул для глазодвигательной системы, который та отслеживает в системе координат сетчатки.

Дополнительные экспериментальные аргументы против традиционной точки зрения на природу взора и механизмы его управления изложены в параграфе 2.3. Постулат «фокального взора» предполагает, что в естественных условиях саккада всегда осуществляется по типу баллистического движения. В проведенных нами опытах испытуемых просили следить за световой точкой на экране монитора, которая совершала плавные колебания по горизонтали с амплитудой 15° и постоянной скоростью $3^\circ/\text{с}$. В случайно выбираемые моменты времени точка совершала скачок по вертикали на заданный угол (1° , 3° , 5° или 10°). Основным результатом этого эксперимента следует считать отсутствие единообразия в дирекциональных и кинематических компонентах переходного процесса ГДС. Другими словами, стандартный внешний стимул вызывал нестандартный переходный процесс в ГДС, включающий как быстрые, так и медленные компоненты, которые в целом обеспечивали приемлемый уровень выполнения поставленной задачи. Особенно впечатляет большой процент криволинейных саккад, меняющих свое направление без предварительной остановки через 30–40 мс после начала

движения. Мы рассматриваем эти результаты как подтверждение идеи целостности ГДС, управляемой по единому принципу, использующей один (позиционный) тип входного сигнала. Конкретный амплитудно-кинематический выход системы зависит от динамики этого сигнала и внутренних параметров работы ГДС, тогда как выбор самого объекта регулирования опосредуется механизмами более высокого уровня.

Идею о «зонной» природе взора подтверждают результаты экспериментов, в которых испытуемые должны были проследивать взором стимульные конфигурации, состоящие из разнесенных в пространстве 2 точек или линии. Оказалось, что хотя в фокусе и не попадало никакой оптической стимуляции, горизонтальные движения глаз плавно отслеживали перемещение целостной стимульной структуры. Аналогичным образом выполняется задача следить за плавными горизонтальными колебаниями вертикальной линии. При выполнении задачи статической фиксации 2 небольших светящихся точек, предъявленных в полной темноте и разнесенных по вертикали на расстоянии от 1° до 10° , среднее положение зрительной оси глаза соответствовало середине отрезка между двумя точками, но она могла отклоняться от этого положения на значительное расстояние, тем большее, чем дальше были разнесены между собой точки. Максимальный размах отклонений от середины составил: при расстоянии между точками 1° — $\pm 0.5^\circ$; 3° — $\pm 1.1^\circ$; 5° — $\pm 2.2^\circ$; 10° — $\pm 3.9^\circ$. При этом, несмотря на значительные колебания зрительной оси, испытуемые переживали статическую фиксацию взора.

Полученные в этих экспериментах записи движений глаз показывают, что зона взора может занимать асимметричную позицию по отношению к стимульной конфигурации и абсолютная величина этой субъективно не замечаемой асимметрии возрастает с размером зоны взора. На основании этого можно предположить, что существует диапазон субъективной нечувствительности к позиционной динамике взора, прямо пропорциональный размеру этой зоны.

Еще один пример относится к задаче фиксации «пустого» пространства между двумя неподвижными точками. В эксперименте, где мы изучали роль глобальных и локальных зрительных признаков при произвольном управлении взором, испытуемые выполняли задачу фракционирования отрезка, обозначенного двумя светодиодами (СД), расположенными вдоль горизонтального меридиана. После фиксации на левом СД предъявляли цифровой указатель ($1/4$; $1/2$ или $3/4$), определявший точку внутри пустого интервала между СД. Регистрировали место останова глаза после первой саккады на «дробную» цель. Наибольшая точность первичных саккад была зарегистрирована при визуальном делении пустого интервала на две равные части, т.е. при фиксации центра отрезка. При делении отрезка на неравные части точка приземления глаза после первой саккады имела

тенденцию отклоняться от заданной позиции в направлении ближайшей састовой точки. Эта тенденция была выражена примерно в два раза сильнее для позиции 3/4 по сравнению с 1/4. Величины ошибок по амплитуде, а также дисперсии этих ошибок увеличивались с увеличением величины отрезка (5° или 10°) и способа организации проб в блоке предъявлений (постоянные или смешанные фракции). Результаты показывают, что процесс зрительной обработки пространственной информации, участвующий в генерации саккад, интегрирует глобальную и локальную информацию для опережающего определения позиции фокуса внимания на пространственной шкале. При этом смещение взгляда в направлении оптического «центра тяжести» фигуры точнее определяет параметры управляющего сигнала для саккады, по сравнению с «асимметричным» взором, несознаваемая позиционная ошибка которого связана с доминированием локальных визуальных стимулов.

Подытоживая результаты экспериментов, описанных в главе 2, следует отметить, что в ней намечены контуры нового подхода к пониманию человеческого взгляда, трактуемого его как активный механизм, обеспечивающий избирательную настройку зрительной системы на те или иные объекты окружающего пространства. В этом смысле взгляд нельзя считать только афферентным или только эфферентным механизмом. Задача состоит в том, чтобы описать взгляд как функциональный орган, связывающий человека с внешним миром (по А.А. Ухтомскому, см. Зияченко, 1995). Эта связь не фиксирована в направлении зрительной оси — любое окулоцентрическое направление или «лучок» этих направлений может сформировать эгоцентр, пространственный локус которого переживается как направление взгляда.

Третья глава посвящена изучению движений глаз, участвующих в перемещении взгляда по глубине и в сохранении ориентации взгляда относительно гравитационной вертикали.

Глава 3. Управление взглядом по глубине и ориентации

В параграфе 3.1 описано экспериментальное исследование, в задачу которого входила оценка вылада вергентных движений глаз в переживание смещения взгляда по глубине. Имеются простые геометрические аргументы в пользу того, чтобы считать, что угол конвергенции (вершина угла, образованного пересечением зрительных осей двух глаз) отражает абсолютную удаленность объекта от наблюдателя (Graham, 1965). Идею о том, что конвергенция может быть использована наблюдателем для определения абсолютной удаленности наблюдателя от объекта, впервые высказал еще Дж. Беркли (Berkeley, 1709), но только через 150 лет В. Вундту (Wundt, 1862) удалось проверить ее

в знаменитом эксперименте с нитью. С тех пор было проведено огромное количество экспериментов, направленных на выяснение роли конвергенции в восприятии удаленности (смотри обзор в работе: Collewijn, Erkelens, 1990). Все они опирались на сходную методологию, пытаясь изолировать конвергенцию как источник информации об удаленности, но полученные здесь результаты были на редкость противоречивы.

Решающий вывод о роли конвергенции в изменении кажущейся удаленности может быть сделан только путем прямой регистрации вергентных движений глаз. Удобнее всего ответить на этот вопрос, используя в качестве тест-объекта заключенную в рамку решетку с вертикальными полосами, равно удаленными друг от друга, при том что точка фиксации находится по центру и дальше от наблюдателя, чем физическая решетка. В этой ситуации испытуемые видят пустую рамку и увеличенные в размере полосы, которые находятся за плоскостью рамки, дальше от наблюдателя (*феномен обоев*; см. Левонтьев, 1974; Логвиенко, Сокольская, 1975). Цель нашего эксперимента как раз и состояла в том, чтобы зарегистрировать бинокулярные движения глаз в условиях наблюдения иллюзии обоев, когда перед испытуемым ставилась задача сместить точку фиксации с плоскости, где локализовались кажущиеся полосы.

Полученные записи вергентных движений глаз показывают, что испытуемый был в состоянии без вреда для качества иллюзии в течение нескольких (до 10) секунд удерживать фиксацию вне плоскости кажущейся решетки на дистанция, соответствующей углу конвергенции более чем 2° . Более того, при выполнении задачи, предписывающей произвольное перемещение взора между плоскостью кажущейся решетки и плоскостью фиксационной точки, разделенных по глубине на 1160 мм (угол конвергенции 1.66°), испытуемый своим субъективным отчете указывал, что мог без труда удерживать фиксацию в течение продолжительного периода времени без нарушения иллюзии. Записи угла конвергенции полностью подтверждают это наблюдение.

Полученные данные относительно диапазона инвариантных изменений точки би-фиксации, при которых не происходит разрушения феномена обоев, не может объяснить ни теория конвергенции, ни теория диспаратности (Ittelson, 1960). Таким образом, было показано, что конвергенция сама по себе не содержит исчерпывающей информации для кодирования перцептивной удаленности, а зона Панума, характеризующая размерность взора по глубине, может достигать нескольких градусов (до 10°) относительной диспаратности.

В параграфе 3.2 описан цикл экспериментов, посвященных оценке роли торзионных (ротационных) движений глаз в ориентации взора относительно вектора гравитации. Основная функция торзионных движений глаз (ТД) связана с компенсацией по-

ворота вертикального меридиана сетчатки, вызванного наклоном головы в сторону от направления прямо-вверх. Есть данные (полученные преимущественно в условиях статического изменения позы), что ориентационная компенсация наклонов головы за счет ТДГ не бывает полной и составляет около 10–20%. Примерно так реагируют ТДГ на изменение направления вектора гравитации (Miller, 1962) и пассивные наклоны тела (Collewijn et al., 1985; Schmid-Priscoveanu et al., 2000). В последние годы стали появляться исследования, где делается попытка измерить динамические параметры системы управления ТДГ при активных наклонах головы (Левашов, Дмитриева, 1981; Belopolsky, 1989a; Diamond, 1979; Fetman et al., 1987; Petrov, Zenkin, 1973; Vieville, Masse, 1987). В этих условиях коэффициент усиления системы ТДГ, измеряемый как отношение между углом наклона головы и величиной противовращения глаза, имеет более высокое значение и зависит при этом от целого ряда переменных: частоты и скорости наклона головы, условий наблюдения (на свету или в темноте) и др. Кроме того, ТДГ сопровождают сканирующие движения глаз (Fetman, Collewijn, Van der Berg, 1987a; 1987b), а также реагируют на оптикокинетическую стимуляцию и наклон визуальной системы отсчета (Howard, 1982). Таким образом, ТДГ являются неотъемлемой частью системы управления взглядом, обеспечивающей постоянное восприятие ориентации окружающего пространства.

Цель проведенного исследования состояла в изучении работы моторной системы ориентации человека относительно гравитационной вертикали в условиях квазипериодических гравитационноинерционных воздействий. Особый акцент был сделан на исследование характеристик торзионных движений глаз (ТДГ) при активных и пассивных наклонах головы и туловища, а также на оценку относительного вклада зрительной обратной связи по ориентации и способов разрешения конфликта между вестибулярной и зрительной информацией. Эксперименты проводились в лабораторных условиях и на плавучем стенде, обеспечивающем условия боковой качки.

Была разработана (Белопольский, Вергилес, 1990) фотоэлектрическая методика регистрации ТДГ, которая позволяет с большой точностью измерять текущее положение вертикального меридиана сетчатки вне зависимости от положения глаза в орбите и положения головы и туловища в пространстве.

Высокая чувствительность примененного метода позволяла впервые зарегистрировать фиксационный торзионный нистагм при неподвижной голове. Кроме того, были подтверждены и частично уточнены литературные данные о кинематических характеристиках противовращательных ТДГ при активных наклонах головы. Коэффициент усиления и фазовое запаздывание ТДГ показали зависимость от частоты наклонов головы. В

естественных условиях наблюдения, т.е. при наличии зрительной обратной связи, изменение этой частоты с 0.3 до 1.1 Гц вело к увеличению коэффициента усиления и уменьшению величины фазового запаздывания ТДГ, вплоть до небольшого (5° – 10°) фазового упрощения на максимальных частотах (ср. Tweed et al., 1994; Vieville, Masse, 1987). Однако в том случае, когда зрительная обратная связь отсутствовала, значимого увеличения коэффициента усиления ТДГ с возрастанием частоты наклонов головы установлено не было.

Принципиальные результаты были получены в условиях, когда испытуемые подвергались квазипериодическим гравитоинверсионным воздействиям. Было установлено, что в условиях боковой качки с частотой 0.5–0.7 Гц и амплитудой до 10° – 15° ТДГ компенсируют прежде всего наклоны головы относительно лонгитюдной оси туловища, а не суммарный вектор отклонения головы от гравитационной вертикали. Это справедливо как для активных наклонов головы, так и для условий, когда наклоны головы возникали как результат непроизвольной коррекции крена туловища. Даже когда такая коррекция была почти полной, т.е. голова оставалась относительно неподвижной в координатах внешнего пространства, ТДГ были направлены *против* наклонов головы в эгоцентрических координатах и коэффициент усиления достигал значений 0.5–0.8 у разных испытуемых. Напротив, когда голова оставалась неподвижной в эгоцентрических координатах за счет напряжения шейных мышц и пассивно раскачивалась вместе со всем телом, противораздательные ТДГ практически отсутствовали. То же имело место и при задаче рассматривания изображения на экране монитора в условиях качки. Этот факт идет вразрез с данными Х. Крейчова с соавт. (Krejčová et al., 1971), показавшими равную эффективность наклонов всего тела и одной головы для инициации противораздательных ТДГ, однако наши условия имели одно существенное отличие — визуальные ориентиры наклонялись вместе с туловищем. Аналогичным образом, в наших лабораторных экспериментах частичная стабилизация визуальных ориентиров при наклонах головы приводила к снижению коэффициента усиления ТДГ.

Следует отметить также полученный в эксперименте факт отсутствия влияния статического компонента крена на величину торзии. Взятые в целом, эти результаты следует рассматривать как отражение сложного взаимодействия зрительной, вестибулярной, соматосенсорной и моторной систем в процессе получения достоверной информации о пространственных координатах внешнего мира и положения в нем самого наблюдателя. Суммируя, можно сказать, что испытуемые в условиях качки игнорировали постоянную составляющую крена и оценивали направление субъективной вертикали по

усредненной за несколько периодов ориентации лонгитюдной оси туловища (ср. с «идеотропическим вектором» — Mittelstaedt, 1983).

Другой вывод состоит в том, что ТДГ стремятся ориентировать окулоцентрическую систему отсчета в направлении текущей ориентации туловища или, что для наших условий идентично, в направлении кабинных ориентиров вертикальности. Точность стабилизации вертикального меридиана сетчатки уменьшается при добавлении дополнительных степеней свободы из-за подвижности головы и сканирующих движений глаз.

В целом, результаты экспериментов, описанных в главе 3, позволяют расширить представление о пространственной метрике зрения человека — наряду с горизонтальной и вертикальной размерностями следует иметь в виду также параметр удаленности (т.е. смотрим мы на более близкий или далекий объект) и параметр наклона субъективной вертикали относительно гравитационной. Кроме того, были получены убедительные факты, что для управления этими размерностями зрения и для формирования соответствующих пространственных переживаний глазодвиговые и познодвиговые механизмы выполняют хотя и важную, но все же вспомогательную роль, будучи опосредованы объемлющим образом окружающего пространства.

В *четвертой главе* были проведены измерения динамических характеристик зрения (зрительно-пространственного внимания) в условиях неподвижного глаза.

Глава 4. Динамика зрительного пространственного внимания при неподвижном глазе

Существует конфликт между ограниченными возможностями параллельной переработки всей зрительной информации, находящейся в широком поле зрения, и последовательным выполнением более сложных операций в узких участках пространства (Леонтьев, Гишперрейтер, 1968). Наиболее изученной формой ориентации зрительной системы является поворот глазного яблока в направлении нового или чем-то выделяющегося стимула (см., например, Гишперрейтер, 1978; Ярбус, 1965). Значительно меньше известно относительно способности человека к избирательной концентрации перцептивной активности внутри поля зрения, которую обозначают обычно термином «пространственное внимание» или «функциональное поле зрения». *В этом, узком смысле, мы рассматриваем данные понятия как синонимы понятия зора, которые, однако, не покрывают его целиком.* Согласно наблюдениям старых авторов (Вундт, 1912; Helholtz, 1866; James, 1890), подкрепленных экспериментами современных исследователей (Белопольский, 1989; Belopolsky, 1993; Eriksen, Hoffmann, 1972; Eriksen, Rohrbaugh, 1970; Findley, Gilchrist, 2003; Jonides, 1983; Kahneman, 1973; LaBerge, 1995; Posner et al., 1980;

Van der Heijden, 1992), в зоне сфокусированного внимания происходит облегчение перцептивной переработки находящейся там стимульной информации, тогда как за ее пределами перцептивная обработка частично или полностью тормозится. Говоря о зрительном пространственном внимании, обычно подчеркивают его зонный характер. Д. Лаберж (LaBerge, 1995; p. 27-38) выделяет шесть основных свойств зоны внимания: 1) наличие границ; 2) вариативность размера; 3) вариативность интенсивности; 4) единственность и пространственная неразрывность; 5) движение или сдвиг; 6) ритмика. Хотя в литературе, посвященной зрительному вниманию наибольшее распространение имеет метафора, уподобляющая фокус внимания «лучу прожектора», этот механизм не в состоянии объяснить свойства 2 и 3 из вышеприведенного списка. Метафора трансфокатора обладает большей гибкостью, связывая обратной зависимостью размер зоны внимания с его интенсивностью, однако, как и в случае с лучом прожектора, остается открытым вопрос о динамике перехода зоны внимания из одного состояния в другое и из одной пространственной позиции в другую.

В настоящее время накоплено множество экспериментальных подтверждений того факта, что внимание может перераспределяться в пространстве и при неподвижном глазе, хотя взгляды исследователей на связь этой динамики с будущим движением глаз остаются противоречивыми. Одни авторы говорят о тесной связи между смещением зоны внимания на периферический стимул и глазодвигательной реакцией на этот стимул (Белозольский, 1985; Deubel, Schneider, 1996; Henderson, 1992; Rizzolatti et al., 1987), другие же указывают на отсутствие жесткой функциональной связи между вниманием и саккадой (Klein, 1980; Remington, 1980), не давая четких критериев, при которых сдвиг внимания все-таки ведет за собой движение глаз.

Было проведено 3 серии экспериментов, призванных уточнить возможности активной настройки зоны зрительного внимания на отдельные участки поля зрения (симметричные и асимметричные по отношению к фовеальной оси) при наблюдении в условиях неподвижного глаза.

Параграф 4.1 посвящен описанию эксперимента, в котором оценивалась действительность разных форм детерминации распределения внимания в поле зрения. В литературе описаны две основные формы управления вниманием: внешняя, экзогенная, или автоматическая, опирающаяся на визуальный пространственный маркер, и внутренняя, эндогенная, или произвольная, использующая знания о вероятностной структуре предъявления (Jonides, 1983; Norman, Bobrow, 1975; Yantis, 1998). Обе эти формы применяются в разных сочетаниях, что также может отражаться на получаемых результатах и выводах. В нашем эксперименте, проведенном по модифицирован-

ной методике «выигрыша — проигрыша» (Posner et al., 1980), использовали два типа стимулов — фиксационный и тестовый. Фиксационные стимулы служили для указания локализации тестового стимула и его наиболее или наименее вероятного размера. Тестовые стимулы были выполнены в виде светлых контурных кругов на темном фоне диаметром 8.7° либо 0.65° . Все круги, независимо от их размера, имели разрывы по вертикали или горизонтали. Задача испытуемых состояла в максимально быстром принятии решения об ориентации разрыва в тестовом стимуле безотносительно к тому, предъявлен ли большой или малый стимул (моторная реакция выбора). Валидность предвизначающего пространственного маркера составляла либо 0.8, либо 0.2, т.е. внешнее управление вниманием действовало либо совместно, либо вразрез с внутренним.

В полученных результатах находит подтверждение одно из основных следствий модели трансфокатора, а именно: зрительная способность к идентификации фoveальной цели уменьшается при предварительной расфокусировке зоны внимания. Это выражается в значительных дополнительных временных затратах на переработку, достигавших 143 мс. Параллельное увеличение частоты ошибок можно расценить как повышение трудности задачи идентификации при расфокусированном внимании. Однако данные, относящиеся к идентификации больших по размеру целей, критические элементы которых были симметрично удалены от фoveа, показывают ограниченность модели трансфокатора. Речь идет о возможности управления размером зоны фокального внимания при условии выполнения принципа «все или ничего» (Broadbent, 1958), согласно которому симультанная переработка не распространяется за пределы четко очерченного участка пространства. Понятно, что, строго говоря, этому принципу должна подчиняться и работа трансфокатора. Однако при оптимальной настройке внимания на фoveальную цель временной проигрыш для идентификации периферической цели составил всего лишь 42 мс. Поэтому вслед за В. Джемсом (James, 1890) можно, по-видимому, предположить, что фокус внимания не имеет резких границ и за его пределами существует переходная область, которую иногда обозначают как область «предвнимания» (Egeth, 1977; Neisser, 1967). Оптимум фокусировки внимания на зонах разного размера достигается за счет совместного внешнего и внутреннего управления, использующего, соответственно, визуальный фиксационный стимул и вероятностную информацию. При конфликте этих детерминант пространственного внимания они оказывают аддитивное влияние на результирующее состояние системы внимания. Вместе с тем, успешность идентификации фoveальных целей в большей степени зависела от пространственной валидности фиксационного стиму-

ла, чем от вероятности предъявления тестового стимула, тогда для периферических целей доминировала ориентировка именно на вероятность предъявления

В параграфе 4.2 изложены эксперименты, целью которых являлось изучение пространственно-временных стратегий расширения-сжатия зоны зрительного внимания в условиях, не предполагающих движений глаз.

В эксперименте 1 целевые стимулы — кольца с узким разрывом по горизонтали или вертикали (трудное задание) или, в другой серии, углы с вершиной, обращенной вверх или вниз (легкое задание) — экспонировали на время 200 мс. Размеры рамки в стимула совпадали в 80% случаев (валидные пробы); в оставшихся пробах стимул был либо больше, либо меньше фиксации рамки (невалидные пробы). Эффект внимания оценивали по разнице между средним временем реакции в валидных пробах, когда ожидаемый и фактический размеры стимула совпадали, и в невалидных пробах, при диссоциации размера ожидаемого и предъявленного стимулов.

В эксперименте 2 темно-серая рамка предъявлялась на экране компьютера на светлом фоне. Рамка представляла собой прямоугольник, выгнутый по горизонтали. Стимулами являлись пары цифр: 66, 69, 96 или 99, расстояние между которыми варьировали. В валидных пробах цифры экспонировались на концах рамки, в невалидных — внутри нее или за ее пределами, симметрично относительно центра. Задача испытуемых состояла в определении «сходства» или «различия» предъявляемых цифр. Эксперимент 3 был проведен по той же схеме и с теми же стимулами, что и эксперимент 2, только был добавлен еще один параметр: стимул предъявляли или сразу же после выключения рамки, или с задержкой на 200 мс.

Во всех проведенных нами экспериментах при разных конфигурациях и размерах стимулов и разной перцептивной трудности задания был подтвержден тот факт, что *неоптимальная пространственная преднастройка внимания увеличивает время, необходимое на перцептивную обработку предъявленного объекта*. Результаты показали, что когда ожидался стимул большего или меньшего размера, чем реально предъявленный, время на его идентификацию возрастало по сравнению с условиями, когда зона внимания совпадала с очертаниями стимульного объекта. Более того, в тестируемом нами диапазоне (до 15° в диаметре) величина временного проигрыша зависела от степени пространственного несоответствия между размером зоны внимания и размером предъявленного стимула.

Рассмотрим отдельно две смоделированные в наших экспериментах ситуации: 1) небольшой стимульный объект предъявляется в центре объемлющей, более широкой зо-

ны внимания и 2) стимульный объект выходит за пределы узкой центральной зоны внимания.

В первой ситуации фокусировка зоны внимания происходит плавно с постоянной радиальной скоростью, составляющей порядка 50°/с. Однако при приближении к околороговому диапазону скорость сжатия зоны внимания замедляется до 10–15 °/с, что отражает определенные трудности, связанные с необходимостью максимально узкой фокусировки зоны внимания.

С более легкими для идентификации стимулами были получены меньшие временные проигрыши при тех же пространственных соотношениях зоны преднастройки внимания и стимула, особенно на начальных этапах фокусировки. Это может означать, что для легко различимых стимулов процесс идентификации может начинаться несколько раньше, еще до того момента, когда зона внимания сузится до размеров целевого стимула.

Во второй ситуации также установлена зависимость временного проигрыша от оптимальной пространственной настройки зоны внимания, хотя она имела более сложный характер. Прежде всего, надо отметить, что по абсолютной величине этот проигрыш, как правило, не превышал 50–60 мс, т.е. процесс дефокусировки занимал меньше времени, чем процесс фокусировки.

Таким образом, мы установили наличие *гистерезиса* в динамике фокусировки и дефокусировки внимания — сжатие зоны внимания в направлении находящегося внутри нее небольшого целевого стимула происходит достаточно плавно и занимает больше времени, чем процесс расширения зоны внимания на объект, контуры которого находятся за ее пределами. Этот факт противоречит предположениям некоторых авторов, что как сжатие, так и расширение зоны внимания связано со стратегиями аналогового типа. Такого рода стратегии достаточно хорошо описывают фокусировку, т.е. сжатие зоны внимания, но никак не подходит для объяснения данных, полученных в условиях, где моделировали процесс дефокусировки, или расширения зоны внимания. Поэтому более вероятной выглядит гипотеза, что переход от сфокусированного внимания к дефокусированному происходит по типу дискретного переключения, практически одномоментно. Образно говоря, после пристальной фиксации мы как бы закрываем глаза и открываем их вновь, охватывая вниманием широкую сцену. Эффективность подобного механизма в том, что широкая зона внимания сразу захватывает целевой стимул, и уже затем плавно фокусируется на нем. Схематически эта гипотеза о двух разных стратегиях пространственного внимания отображена на рисунке 2.

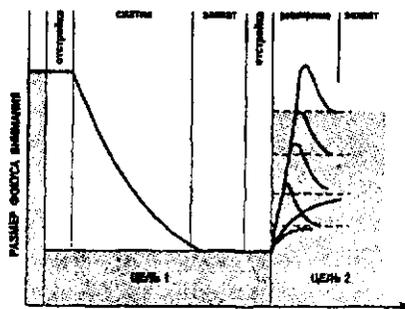


Рис.2. Схема, иллюстрирующая гипотезу о двух стратегиях пространственного внимания

Следует остановиться еще на одном результате, полученном в наших экспериментах. Оказалось, что приобретаемый в ходе выполнения экспериментальных заданий навык не затрагивал общей динамики фокусировки и дефокусировки внимания. Следовательно, стратегии пространственного внимания являются более ригидными, чем механизмы собственно перцептивной обработки набора предъявляемых стимулов, за счет автоматизации которых и происходит ускорение реакции выбора.

В параграфе 3.3 приведены эксперименты, в которых изучали эффекты предупреждающего сигнала в задаче обнаружения в зависимости от типа предупреждающего сигнала, а также временной и пространственной неопределенности целевого стимула.

Задача эксперимента 1 состояла в том, чтобы прояснить взаимосвязь между предупреждающим (alerting) сигналом и сигналом предынформирования (cueing). О последнем обычно говорят в контексте экспериментальной парадигмы «выигрыша-проигрыша» (Posner, 1980), когда подаваемый после начала пробы вспомогательный сигнал указывает наиболее вероятное местоположение целевого стимула. Высказывается мнение, что предынформировующий сигнал работает также и как сигнал предупреждения, оказывая таким образом дополнительное влияние на скорость обнаружения. Однако Д. Фернандес-Дюк и М. Познер (Fernandez-Duque, Posner, 1997) получили данные, которые поддерживают идею о раздельных механизмах для управления такими компонентами внимания как активация и ориентировка. Активация характеризуется ими как общая, неспецифическая готовность к совершению действия, тогда как ориентировка повышает чувствительность сенсорной системы на появление стимула в определенной пространственной зоне.

Временную динамику эффекта предупреждающего сигнала изучали на интервалах периода упреждения (ПУ) 100–1600 мс, комбинируя процедуру фиксированного и не-

ременного ПУ. Диапазон вариативности ПУ оставался постоянным (3 сигнала, ± 250 мс), тогда как среднее значение ПУ менялось в разных блоках проб с шагом 250 мс. Использовали предупреждающие сигналы разной модальности — слуховой и зрительный. Зрительные предупреждающие сигналы были 2 типов, предполагающие узкую или более широкую фокусировку пространственного внимания. В серии проб целевой стимул появлялся либо в неизменной пространственной позиции, либо равновероятно в 1 из 5 возможных позиций.

Было установлено, что фактор пространственной локализации предъявляемого стимула тесно связан как с типом предупреждающего сигнала, так и с временной позицией ПУ. Зрительный сигнал производил значимый предупреждающий эффект (ВР меньше, чем в ситуации без предупреждающего сигнала) только тогда, когда целевой стимул постоянно появлялся в центральной позиции. При этом центральный зрительный предупреждающий сигнал обеспечивал более быстрое обнаружение, чем периферический. Оба зрительных предупреждающих сигнала оказались мало эффективны, когда местоположение стимула варьировало случайным образом, т.е. когда они не обладали качеством прединформирования (валидность центральной и 4 других пространственных позиций равнялась 20%).

Если сравнить между собой эффективность зрительных и акустического предупреждающего сигнала, то следует отметить, что последний обеспечивал более существенное снижение ВР в задаче обнаружения, и этот выигрыш во времени не зависел от средней величины ПУ и от степени неопределенности пространственной локализации стимула. Это означает, что акустический предупреждающий сигнал связан прежде всего с механизмами общей активации и менее специфичен в отношении механизма пространственной локализации стимула. «Вспыхивающий» периферический или центральный зрительный стимул не только является сигналом готовности, причем энергетически более слабым по сравнению с акустическим сигналом, но и запускает процессы, связанные с избирательной настройкой зрительного пространственного внимания на основе текущей и ранее воспринятой информации.

Говоря о динамике зрительного пространственного внимания, часто выделяют следующие фазы, или этапы этого процесса: 1) отстройка от объекта предыдущей фиксации (disengagement); 2) движение (moving) или изменение размера поля внимания; 3) захват новой цели (engagement) (Fisher, Weber, 1993; Posner, 1980). Каждый этап отрабатывается в автоматическом режиме и занимает определенное время, которое, тем не менее, не является строго фиксированным и зависит от целого ряда факторов, как внешних, так и внутренних.

Таким образом, можно предположить, что в задаче обнаружения, которая не предъявляет сколько-нибудь высоких требований к разрешающей способности зрительной системы, полученные нами в различия во ВР для стимулов в ожидаемой и случайных пространственных локализациях при зрительных предупреждающих сигналах и отсутствие таких различий при акустических предупреждающих сигналах связаны главным образом с первым этапом пространственной ориентировки внимания, а именно, с этапом отстройки от фиксации. Акустический сигнал автоматически отстраивал внимание от фиксационной рамки, тогда как зрительный, напротив, притягивал его, соответственно, к большой или малой рамке. Положительный эффект такого зрительного прединформирования достигался только в случае, когда оно было релевантно позиции предъявляемого стимула, тогда как неопределенность в локализации стимула заново запускала цикл настройки пространственного внимания, что влекло к проигрышу во ВР даже по сравнению с условиями без предупреждающего сигнала. Интересно, что длительность этапа отстройки от фиксации обычно оценивают в 50 мс, что совпадает с наивысшей величиной эффекта предупреждающего сигнала.

В эксперименте 2 уточнялись особенности временной динамики эффекта предупреждающего сигнала в зависимости от того, задается ли предупреждение *включением* или *выключением* соответствующего сигнала. О возможной разнице между этими двумя ситуациями говорит тот факт, что короткий темновой интервал между выключением фиксационной точки и предъявлением стимула ведет к укорочению времени саккадической и мануальной реакции, по сравнению с условиями, когда фиксационная точка экспонируется постоянно (Fisher, Weber, 1993).

Результаты показывают, что когда отстройка от фиксационных зрительных стимулов — и периферического, и центрального — осуществлялась автоматически, за счет гашения этих стимулов, то легче было отстроиться от центрального фиксационного стимула, чем от периферического, что выражалось в показателях ВР обнаружения. Можно предположить, что при выключении периферического фиксационного стимула внимание продолжало удерживаться в той же пространственной зоне, поскольку именно там ожидалось появление целевых стимулов, тогда как выключение центрального фиксационного стимула приводило систему пространственного внимания в состояние полной готовности к захвату нового стимула. Выключение центрального фиксационного стимула производит эффект, подобный эффекту акустического предупредительного сигнала.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, динамические преобразования пространственной зоны внимания (взора), модулированные собственно перцептивной активностью наблюдателя, могут протекать настолько быстро, что времени межсаккадической паузы (около 250-300 мс) будет вполне достаточно не только для уверенного опознания объекта, но и на поиск и обнаружение нового объекта фиксации, в сторону которого затем и поворачивается глаз. Тем самым, процессы опознания и локализации, разведенные в традиционном описании структуры перцептивного акта, могут быть рассмотрены как единый, целостный, слитный воедино процесс, разворачивающийся в пространстве и во времени.

В пятой главе описываются исследования, в которых развивается новый взгляд на природу позиционного чувства взора и на механизм пространственной ориентации человека.

Глава 5. Движения взора и стабильность видимого мира

Экологию человеческого существования составляет неподвижная среда, которая должна восприниматься и воспринимается таковой *вне* зависимости от способа поведенческой активности наблюдателя, а обнаруженное *внутри* неподвижной среды движение служит сигналом об изменениях, имеющих приоритетную биологическую значимость для наблюдателя.

Классическая конкретно-научная постановка проблемы стабильности видимого мира (см. Барабанщиков, Белопольский, 2008; Грегори, 1970; Луук и др., 1977; Bridgeman et al., 1994; Stability and constancy in visual perception, 1977; Wertheim, 1994) связана с признанием факта достоверности чисто зрительного, сетчаточного сигнала как единственного источника информации о движении воспринимаемых объектов. Действительно, при восприятии движущихся объектов неподвижным глазом результирующий сетчаточный сигнал напоминает тот, который возникает при движении глаза, головы или тела наблюдателя относительно неподвижного зрительного окружения, но если в первом случае воспринимается перемещение объектов, то во втором — их неподвижность.

В рамках классического подхода эти факты ведут к постановке вопроса о дополнительном, «экстраретинальном» источнике пространственно-динамической информации, связанной с собственными перемещениями наблюдателя, приводящими к изменению сетчаточной проекции внешних объектов. Другой вопрос состоит в том, каким образом перцептивная система учитывает оба позиционных сигнала (сетчаточный и экстраретинальный) для достижения адекватного восприятия внешней среды. Здесь наибольшее

распространение получали модели, использующие идею «компенсации», «вычитания» или «принятия в расчет» сетчаточного сигнала о перемещении и экстраретинального сигнала, связанного с произвольными движениями глаз. Хотя сенсомоторные схемы типа предложенной Э. фон Хольстом и Х. Миттельштадтом (Holst, Mittelstaedt, 1950) неплохо объясняют основные феномены зрительной стабильности, они неоднократно подвергались критике по целому ряду позиций.

Во-первых, природа «экстраретинального» сигнала остается до сих пор неясной; варианты ответов включают, с одной стороны, гипотетические «волевое усилие» (Helmholtz, 1866), «чувство иннервации» (Max, 1903), «эфферентную копию» (Holst, Mittelstaedt, 1950), «побочный разряд» (Sperry, 1950), объединяемые часто термином эфферентный (outflow) сигнал, и, с другой, проприоцептивные сигналы от внешних глазных мышц (Сеченов, 1952; Гуревич, 1971; Шеррингтон, 1969; Ludwig, 1952), или афферентный (inflow) сигнал, существование которого оспаривается в ряде прямых экспериментов (Brindley, Merton, 1960).

Во-вторых, существует временное рассогласование между генерацией гипотетического эфферентного сигнала, предшествующего повороту глаз, и соответствующего ре-афферентного сетчаточного сигнала, величину которого можно оценить только после завершения этого поворота. Что же касается проприоцептивного позиционного сигнала, то его учет возможен только с определенной задержкой относительно конца поворота глаз, тогда как феноменальная стабильность не допускает каких-либо пауз или разрывов. В-третьих, метрика и система отсчета зрительного и незрительного сигналов, подлежащих алгебраическому сложению или другого рода сопоставлению, исходно не совпадают и должны быть перекодированы (как?) в общую для них (какую?) шкалу измерений (см. Belopolsky, 1994). В-четвертых, такого рода компенсационная модель выдвигает очень жесткие требования к точности обоих сигналов, учитывая высокую чувствительность зрительной системы к обнаружению пространственного смещения воспринимаемых объектов.

Критические по отношению к классическим теориям стабильности факты и наблюдения, были получены в наших экспериментах, проведенных с использованием техники варьирования величины оптической обратной связи в глазодвигательной системе (см. главу 2). При увеличении или уменьшении коэффициента зрительной обратной связи глазодвигательная система работала с систематической позиционной ошибкой, что, по прогнозу теории компенсации, должно было бы привести к визуальной нестабильности внешних объектов. На самом же деле этот прогноз был полностью опровергнут.

Резюмируя, нужно подчеркнуть, что а) даже выраженный дисбаланс в окуломоторной координации не связан жестким образом с появлением ощущения зрительной неустойчивости; б) предъявление целостной зрительной сцены облегчает восприятие ее стабильности.

Анализ феноменологии зрительного пространственного восприятия привел нас к заключению, что любая теория стабильности должна учитывать, что в результате поворота глаз видимый мир не просто остается стабильным — меняется относительная позиция зрительного эгоцентра в неподвижной внешней системе отсчета. В терминах теории компенсации это ведет к логическому нонсенсу: экстраретинальный (т.е. незрительный, безотносительно к его природе — Main, 1972) сигнал о перемещении глаз должен учитываться зрительной системой дважды, один раз — для компенсации сетчаточной реафферентации, а другой раз — для информирования об изменении позиции взора относительно неподвижного окружения (см. рисунок 3).

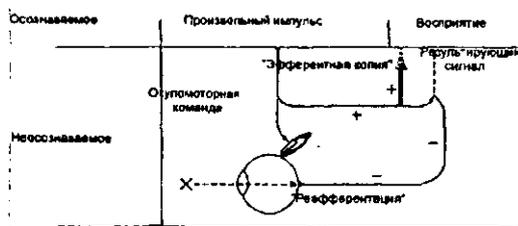


Рис. 3. Схема, иллюстрирующая идею Э. фон Хольста о механизме зрительной стабильности как вычитания «эфферентной копии» из входящих в глаз зрительных сигналов (по Holst, 1957). Добавленная нами жирная стрелка демонстрирует необходимость двойного учета эфферентного сигнала для объяснения феноменального сдвига позиции взора относительно стабильных объектов

В двух сериях экспериментов, изложенных в этой главе, проверяли гипотезу, согласно которой наблюдатель интерпретирует динамику стимульных событий, происходящих до, во время и после движения глаз, в соответствии с принципом относительности: воспринимается либо движение субъективно представленного эгоцентра (взора) относительно стабильной окружающей среды, либо движение заполняющего все поле зрения визуальной структуры относительно неподвижного взора. Понятно, что такой меха-

низм не требует компенсации сетчаточных последствий собственных движений наблюдателя.

В параграфе 5.1 приведены эксперименты, посвященные изучению механизмов зрительной стабильности в условиях искусственного ограничения поля зрения. В ряде работ было показано (Андреева и др. 1972; Maglinski, Lai, 1975), что ограничение поля зрения ведет к искажению пространственных пропорций сканируемого изображения, которое не может быть сведено к работе механизма компенсации. Однако высказанное в этих работах предположение о снижении точности эфферентного сигнала при сужении поля зрения основано на косвенных оценках и нуждается в дополнительной проверке. Возможно и другое объяснение данных иллюзий. Оно базируется на том, что иллюзии сжатия возникают только при развернутой моторной активности, как феномен интеграции многократно повторяющихся эфферентных посылок, и отсутствуют при единичной глазодвигательной реакции, т.е. после саккады, соизмеримой с размерами цели.

Таким образом, условия искусственного ограничения размеров поля зрения создают ситуацию, которая позволяет проверить некоторые следствия теорий компенсации. Критическим для этой теории явился бы сам факт нарушения стабильности восприятия при произвольных поворотах зора, сопровождающихся саккадами, тогда как сохранение стабильности в данных условиях переносило бы центр проблемы на процесс пространственно-временной интеграции отдельных актов сенсомоторного взаимодействия.

В экспериментах ограничение поля зрения достигалось при помощи центральной глазной присоски, на которой крепился цилиндрический тубус с отверстиями в обеих торцевых заслонках. Диаметр видимого участка поля зрения не менялся в экспериментах и был равен 5° . Процедура эксперимента включала последовательную фиксацию двух неподвижных черных точек, расположенные на экране. Расстояние между точками варьировало от 1° до 2.5° степенями через 0.5° . Вопреки ожиданиям, впечатление, о котором сообщали испытуемые, не всегда было одним и тем же и находилось в тесной зависимости от расстояния между точками. При малых расстояниях (1.0° – 1.5°) испытуемые обычно воспринимали точки как неподвижные, при этом ясно ощущалось перемещение зора с одной точки на другую. Когда же это расстояние было больше (2.0° – 2.5°), наблюдалось резкое смещение изображения двух точек. Парадоксальность такого впечатления состоит в том, что испытуемые, отдавая себе отчет о направлении, в котором они хотели перевести зор, субъективно не ощущали реального перемещения глаз в пространстве.

Таким образом, результаты эксперимента 1 показывают, что изменение сетчаточной проекции объекта, вызванное движением глаз, может быть интерпретировано зрительной системой в двух различных системах координат: в координатах сетчатки, если эти изменения соизмеримы с величиной поля зрения, или в координатах внешнего пространства, если эти изменения малы.

В дополнительном эксперименте проверяли идею, что если «опредметить» изображения, воспринимаемые узким полем, ввести в них дополнительные пространственные, структурные и смысловые ориентиры, то можно получить стабильное восприятие даже при максимальных скачках глаз. Испытуемые рассматривали оптический паттерн, заполняющий контурное изображение, стилизованный рисунок лица и предметное изображение, части которого были пространственно и семантически связаны между собой. Все тестовые изображения имели размер около 20° , т.е. значительно превосходили по величине видимый участок поля зрения. Результаты показали, что тенденция к нестабильному восприятию, существующая при максимально возможных (в условиях ограниченного поля зрения) скачках глаз в обедненной визуальной стимуляции (2 точки), может быть преодолена введением дополнительных визуальных ориентиров, пространственные связи между которыми имеют не просто структурный, а содержательно-смысловой характер. При этом возникает ощущение движения зора по неподвижному изображению, в противовес ощущению движения элементов изображения относительно неподвижной точки зора, существующему при нестабильном восприятии. Таким образом, можно сделать вывод, что основное содержание перцептивного по своей природе механизма стабильности сводится к постоянной проверке того, можно ли отнести данное изменение сетчаточной проекции к движению зора относительно объектов внешнего мира, неподвижность и предметность которых является «нулевой гипотезой» (МакКая, 1983) или «экологическим постулатом» (Gibson, 1973) деятельности зрительной системы.

Проверке этого вывода были посвящены эксперименты, изложенные в параграфе 5.2. Предметом исследования служил один из центральных феноменов стабильности зрительного восприятия, а именно, переживание движения неподвижного относительно сетчатки глаза изображения, связанное с движениями глаз. Цель исследования состояла в сравнении пространственной динамики среднего последовательного образа (СПО) с динамикой локального последовательного образа (ЛПО) в процессе движений глаз и головы. Кроме того, оценивалось поведение самосветящихся неподвижных точек на фоне СПО и их влияние на динамику СПО и движений глаз. Наложение (суперпозиция) элементов зрительного поля с разными параметрами зрительной обратной связи созда-

ет ситуацию, при которой можно изучать феномены стабильности раздельно на сенсомоторном и перцептивном уровнях (см. Барабанщиков, Зубко, 1980). Наконец, изучались феномены стабильности при рассматривании ПО частей тела наблюдателя, а именно, его ладони. Последняя экспериментальная процедура применялась для проверки гипотезы, что ЛПО внешних объектов и частей собственного тела должны вести себя различным образом в процессе движений глаз, поскольку они принадлежат разным (экзоцентрической или эгоцентрической) системам отсчета.

Результаты показали, что хотя для контура управления движениями глаз условия СПО и ЛПО являются идентичными, они принципиально различны с точки зрения феноменальной стабильности этих образов во время движений глаз. Реалистичный СПО доминирует как стабильная зрительная пространственная система отсчета, а удержание внимания на том или ином его элементе позволяет перцептивной системе, вопреки окулomotorной нестабильности этого состояния, интерпретировать его как одноактный перевод взора. В этой системе отсчета воспринимается перемещение объективно неподвижных объектов вместе с движениями глаз, что вполне согласуется с принципом относительности в восприятии движения (Dunker, 1929; Johansson, 1950). Условием стабильного восприятия неподвижных объектов на фоне СПО является пристальная фокусировка внимания на этих объектах в процессе их рефраксации, что удается только при их близком взаимном расположении. Можно предположить, что такая фокусировка позволяет отстроиться от СПО и воспринять сами неподвижные объекты как систему отсчета. Когда же такие объекты разнесены достаточно далеко и их рефраксация невозможна без внимания к СПО (что отражается, в частности, в усилении постсаккадического дрейфа), то саккадические движения глаз сопровождаются парадоксальным ощущением неподвижности взора, стабильности зрительного окружения и кажущегося смещения объективно неподвижных объектов, что очень напоминает феноменологию начального этапа рассматривания структурного изображения в условиях редукции поля зрения (Белопольский, 1978). Что же касается воспринимаемого движения ЛПО при поворотах глаз, то логично предположить, что фиксируемый объект меняет свою локализацию относительно какой-то неподвижной пространственной системы отсчета. При рассматривании ЛПО в полной темноте ею может быть эгоцентрическая система координат («схема тела»), а при рассматривании ЛПО на свету — координаты внешнего пространства.

Интересно, что при пассивных (механических) перемещениях глаз различия в пространственной динамике СПО и ЛПО отсутствуют и оба они воспринимаются стабильно. В контексте развиваемого нами подхода это означает, что такое экологически нева-

лидное воздействие не изменяет позиции визуального эгоцентра. Соответственно, в этих условиях стабилизированное сетчаточное изображение воспринимается как неподвижное, а все трансформации сетчаточного изображения, сопровождающие восприятие неподвижных объектов, переживаются как движение.

Следовательно, объяснение феномена стабильности зрительного восприятия действительно не может быть сведено к механизмам сенсомоторного управления взглядом, а представляет собой, на наш взгляд, проблему визуальной экологии и может быть переформулировано как *решение задачи на включение воспринимающего субъекта в зрительный образ окружающего мира.*

В главе шесть сформулированное в предыдущих главах представление о функциональной структуре и динамике взгляда человека уточняется и проверяется в контексте изучения такой автоматизированной познавательной деятельности как чтение.

Глава 6. Управление взглядом в процессе чтения

Исходя из традиционного понимания структуры и динамики взгляда, считается, что вся информация в процессе чтения воспринимается в моменты времени, когда глаза находятся в относительном покое. Эти состояния, называемые фиксациями, перемежаются быстрыми движениями глаз, или саккадами. Исходя из специфики чтения, наибольшее значение придают следующим параметрам движений глаз — длительности межсаккадаческих пауз (т.е. «фиксаций») и амплитуде саккад в сопоставлении с пространственным положением точки «фиксации» относительно текстовых единиц и в направлении движения.

Однако проведенный нами в параграфе 6.1 анализ показывает, что разнообразные модели процесса чтения, опирающиеся на методологию «фовеального взгляда», не в состоянии объяснить ряд фундаментальных экспериментальных фактов. В частности, это относится к интерпретации последовательности остановок взгляда на текстовом пространстве, которую связывают с объемом информации, обрабатываемым за одну фиксацию, и обычно обозначают как «объем восприятия», или «функциональное поле зрения». Показано, что эффективный размер ФПЗ при чтении превышает возможности опознавания слов при неподвижном взгляде и среднюю величину амплитуды саккад. Кроме того, было установлено, что в процессе чтения функциональное поле зрения занимает асимметричную относительно точки фиксации позицию с очень сильным эксцентриситетом в сторону направления чтения (McConkie, Rayner, 1975). Сюда же можно отнести факты, что некоторый процент слов опознается без остановки на них глаз, а также укорочение (вместо ожидаемого удлинения), времени межсаккадаческих пауз по ходу становления навыка чтения.

Нами были проведены эксперименты, где на материале процесса считывания текстовой информации проверялась гипотеза об отсутствии жесткой пространственно-временной привязки локуса сфокусированной перцептивной обработки (взора) и направления фoveальной зрительной оси.

В эксперименте, изложенном в параграфе 6.2, использовали методику «движущейся строки», или «одномерного» предъявления текста, в отличие от обычного, двумерного предъявления текста на странице. Эти условия, с одной стороны, снижают уровень произвольности перевода взора, а с другой позволяют отдельно манипулировать отдельными перцептивными факторами, оказывающими влияние на скорость и эффективность чтения. Особенностью такого режима предъявления является нистагмодный характер глазодвигательной активности, медленные фазы которой соответствуют межсаккадическим паузам при обычных условиях чтения.

Независимыми переменными были: размер букв — от 0.1 до 4.0° 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.

Оказалось, что скорость чтения движущегося текста почти не меняется для размеров букв в диапазоне от 0.25 до 1.0°, при увеличении числа одновременно экспонируемых букв начиная с 10–20 знаков и при увеличении угловой скорости текста в диапазоне от 0 до 30%/с. Были получены данные о параметрах движений глаз при чтении движущегося текста, которые свидетельствуют о подчиненности этих параметров не только перцептивным условиям считывания, но и возможностям смысловой обработки текста. Установлен факт уменьшения коэффициента усиления медленной фазы нистагма при чтении движущегося текста в диапазоне инвариантности. Этот показатель может быть предложен как диагностический для оценки степени эффективности навыка чтения в данных конкретных условиях.

Предложенное объяснение этого эффекта 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 предположение о принципиальной возможности расширения функционального поля зрения за счет осуществления нескольких циклов считывания информации на протяжении одной межсаккадической паузы.

Дополнительные эмпирические данные в пользу высказанной выше гипотезы были получены в другом эксперименте (параграф 6.3), где сравнивали эффективность считывания

ванция текстовой информации при разных динамических режимах предъявления: «движущаяся строка» и скроллинг (вертикальное движение колонки текста), по сравнению со статическим режимом предъявления. Показатели скорости и точности считывания были дополнены здесь субъективным шкалированием комфортности восприятия и уровня уверенности в правильности ответов.

Результаты исследования возрастных этапов развития пространственных стратегий зрения при чтении описаны в параграфе 6.4. Испытуемыми были школьники 2–11 классов, которые читали вслух и про себя научно-популярные тексты, предъявляемые в статическом и динамическом режиме. Было установлено, что в развитии навыка чтения существенная роль принадлежит управлению траекторией взгляда относительно пространства текстового поля. Уменьшение нагрузки на этот компонент за счет предъявления текста в виде «бегущей строки» дает начинающим читателям возможность показать более высокую скорость чтения, по сравнению с чтением обычного двумерного текста. Продвинутые же читатели, наоборот, способны использовать вертикальную размерность текстового поля при чтении про себя статического текста, по сравнению с чтением движущегося текста.

В параграфе 6.5 описан эксперимент, который был посвящен изучению электрофизиологических и глазодвигательных коррелятов фиксационной нагрузки при считывании лексической информации в условиях подвижного взгляда.

Показано, что компонент P2 и коэффициент усиления глазодвигательной системы одинаково чувствительны к когнитивным и сенсорным нагрузкам, из чего можно предположить важную роль пространственного внимания в контроле над длительностью фиксации.

Наконец, серия экспериментов, описанных в параграфе 6.6, была предпринята для оценки пространственных стратегий взгляда при нормальной и высокой скорости чтения. Варьировали также типографические параметры плоскочечного текста как ширина строки, расстояние между строками и степень сформированности навыка чтения.

Главный из полученных нами результатов состоял в том, что совершенствование навыка чтения, заключающееся в ускорении чтения без потери в уровне усвоения прочитанного, сужает диапазон инвариантных изменений текста, не влияющих на его читаемость. Если до обучения мы не обнаружили различий между группами испытуемых, читающих один и тот же текст в разных форматах, то после обучения текст с длиной строки 40 или 80 знакомест читался быстрее, чем тот же текст с длиной строки 20 и 120 знакомест.

Другой важный факт служит дополнительным подтверждением этого вывода. При чтении текста с оптимальной шириной строки (80 знакомест) увеличение межстрочного интервала с 2 до 3 пунктов вызвало значительно меньший прирост скорости чтения после прохождения курса обучения, по сравнению с тем, что было до его начала. Взятые вместе, эти результаты свидетельствуют о том, что существенными условиями ускорения процесса чтения являются более высокие требования к пространственному расположению текста.

Регистрация движений глаз у быстро и средне читающих испытуемых позволяла выделить следующие особенности пространственных стратегий быстрого чтения по сравнению с обычным чтением:

- 1) тенденцию к отклонениям от привычной траектории движения взора в процессе чтения за счет широкого использования вертикальных и левосторонних направленных движений взора;
- 2) повышенную вариабельность и увеличение средних значений стандартных параметров движений глаз — длительности межсаккадических пауз и амплитуд саккад;
- 3) большую зависимость параметров саккадических движений глаз от ширины строки;
- 4) увеличение интра- и интериндивидуальной гибкости пространственных стратегий чтения в зависимости от типографических особенностей текста, его содержания и, вероятно, индивидуального когнитивного стиля.

Сделан вывод, что при реконструкции динамики перцептивного процесса считывания текстовой информации по записям движений глаз наиболее перспективным подходом является не анализ отдельных саккад и межсаккадических интервалов, а выделение паттернов саккад, которые обеспечивают целостный перцептивный акт. Некоторые авторы считают, что для анализа психических операций, обеспечивающих процесс чтения следует учитывать поступательный или возвратно-поступательный характер двух и более последовательных саккад, а также локус их окончания относительно слов текста. Наши данные дополняют эту классификацию, вводя в нее вертикальную размерность саккад (вверх и вниз), а также динамику дрейфа в моменты межсаккадических пауз.

В **Заключении** подводятся итоги работы и формулируется общее представление о строении, механизмах и функциях взора человека.

Суммируя проведенный теоретический анализ и полученные данные можно сказать, что традиционное представление о взоре как пространственной точке на конце цен-

тральной зрительной оси глаза, перемещаемой посредством координированной системы моторных механизмов глаз, головы и туловища, не позволяет построить целостную систему представлений, которая бы адекватно описывала бы все накопленные к настоящему времени экспериментальные факты и феноменологические наблюдения.

Частично такая работа была проделана в цикле исследований, изложенных в диссертационной работе. Центральным понятием, которое позволило нам связать воедино сенсорные, двигательные и когнитивные компоненты зрительной деятельности, явилось *мыслие зора*, которое получило здесь новую трактовку. Постулату «фовеального зора», было противопоставлено представление о *зоре как функциональном органе восприятия* (по А.А. Ухтомскому, ср. Берштейн, 1947; Зияченко, 1995; Леонтьев, 1965). Зор как перцептивно-моторный функциональный орган обладает, в отличие от глаза, позиционным чувством, источником которого является проприоцепция («в широком смысле»). Другими словами, зор включен в схему тела в качестве *зрительного эгоцентра*.

Результаты проведенного нами цикла работ подтверждали идею о том, что открывающаяся наблюдателю зрительная картина мира всегда включает в себя в качестве неотъемлемого компонента и самого наблюдателя, причем не только его рук, ног и туловища, не только краев глазных орбит и бровей, ограничивающих поле зрения (Гибсон, 1988), но и *местоположение зора внутри воспринимаемого пространства*. При таком подходе проблема сохранения стабильности видимого мира, или константности восприятия в условиях мобильного наблюдателя, переформулируется в проблему управления зором в условиях априори неподвижного внешнего окружения, и при ее решении используются экологические критерии.

Субъективно зор находится там, куда мы смотрим, он может смещаться по сторонам и по глубине и имеет определенную ориентацию по вертикали, т.е. верх и низ. Между тем, полученные нами результаты показывают, что субъективная динамика смещения зора не всегда совпадает с динамикой саккадических и плавных движений глаз и даже с самим фактом таких движений, что глубина зора не связана напрямую вергентными движениями глаз, что ориентация зора относительно субъективной вертикали не обеспечивается полностью компенсационными движениями глаз, головы и туловища.

В понятие зор зафиксирована такая важная характеристика работы зрительной системы как пространственная селективность, избирательность в приеме и переработке визуальной информации, которая имеет несколько параметров — кроме локуса пространственной настройки (куда человек смотрит) это и ширина настройки (размер зоны перцептивной обработки), и напряженность фиксации (глубина переработки).

Эти параметры зора часто описывают в терминах пространственного внимания. (LaBerge, 1995; Pashler, 1998).

Селективность зора как функционального органа подразумевает гибкую возможность изменения его пространственной настройки, причем очень быстро, даже в интервалы между саккадами, которые традиционно интерпретируются как моменты фиксации зора. Поэтому будет справедливо говорить и о таком параметре зора как временная ритмика.

Поскольку зор включен в схему тела, то им можно управлять и в полной темноте, ориентируясь на эгоцентрические пространственные координаты или следуя за частями собственного тела, причем двигательная система глаза обладает способностью достаточно точно отслеживать эти перемещения. Амодальность пространственной картины мира обеспечивает и слежение зором за пространственными сигналами, поступающими по незрительным сенсорным каналам, например, слуховым или тактильным. Тем самым обеспечивается тонкое координированное взаимодействие зрительных и общедвигательных механизмов.

Так называемые «моторные теории восприятия» приписывают движениям глаз самые разнообразные гностические функции — сравнение, измерение, формирование образа, опознание и т.д. С нашей точки зрения, ни движения глаз, ни сами по себе движения зора не способны выполнить эти функции. Основной функцией зора человека является настройка зрительного канала на тот или иной объект или зону пространства с целью сохранения ориентировки в пространстве, а также получения более детальной информации о качестве рассматриваемого объекта или сцены.

В представленных в диссертационной работе экспериментах было показано, что именно пространственная динамика локуса зрительной активности, оперирующая внутри визуального пространства, одосредует структурно-энергетические характеристики стимуляции, просцирующей на сетчатку глаза, и запускает двигательные автоматизмы, отслеживающие задаваемую зором цель, описываемую в единой с ними системе координат. Динамику зора могут задавать как биологически значимые стимулы (вспышка, движение, структура, перепад освещенности), так и цели, определяемые ситуацией и решаемой человеком задачей. В последнем случае зор локализует в пространстве явно или неявно заданные цели и обеспечивает содержательную и пространственно-временную преемственность в рассматривании объектов и пространственных зон, тогда как собственно перцептивные и когнитивные процессы обеспечивают выбор стратегии движения зора и интеграцию получаемой перцептивной информации. При этом управляющие воздействия со стороны познавательных процессов, а также произ-

вольные команды, адресуются не непосредственно моторной системе глаз, а взору, который способен не только найти цель, но и обеспечить ей оптимальные условия рассматривания. Приведенные исследования пространственных стратегий взора при чтении неподвижного и движущегося текста показали, что именно таким образом обеспечивается тесная связь динамики взора с кодом переработки лингвистической информации. В свою очередь, динамика взора наиболее адекватно отражается не в отдельных глазодвигательных реакциях, а в целостных паттернах движений глаз.

Принципиальное значение для нашей концепции является тот факт, что именно взор (а не глаз как анатомический орган) является объектом наблюдения со стороны других людей и содержит важную информацию о человеке, используемую в межличностном общении.

Выводы:

1. Сформулирована концепция взора человека как перцептивно-моторного функционального органа, обладающего позиционным чувством, включенного в видную картину мира в качестве «визуального эгоцентра», обеспечивающего активную визуальную ориентировку в окружающей среде, селективный поиск и создание оптимальных условий для поэтапной обработки визуальной информации.
2. Показано, что окуломоторика выполняет функции низкоуровневого исполнительного компонента взора и может быть описана как следящая система позиционного контроля с отрицательной обратной связью. Доказательством этому служат следующие результаты, полученные с использованием метода варьирования величины зрительной обратной связи: расширенный диапазон устойчивости ГДС по сравнению с предсказаниями дискретной модели, адаптивность ГДС, присутствие саккадических и плавных движений в фиксационном повороте, отсутствие рефрактерного периода, связь быстродействия ГДС с величиной обратной связи.
3. Подтверждена гипотеза, что динамика зоны взора (внимания) совпадает по своим пространственным и временным характеристикам с динамикой зоны съема содержательной визуальной информации.
4. Получены критические доказательства, что именно смещение сетчаточной проекция зоны взора (внимания) относительно центральной (фовеальной) оси задает сигнал рассогласования на входе ГДС, т.е. переводит ее из устойчивого состояния в неустойчивое. Точный вектор управляющего окуломоторного сигнала,

- определяющий направление переходного процесса, задается позицией центра зоны внимания, тогда как его стартовая скорость находится в зависимости от усредненной интенсивности (яркость, контраст) той стимуляции, которая попадет в зону внимания.
5. Экспериментально установлено, что зона взора имеет не 2 (плоскость), а 4 пространственных измерения (плюс глубина и поворот относительно субъективной вертикали), что доказывает регистрация верзионных, вергентных и торзионных движений глаз при выполнении задач по удержанию фиксации на реалистичных объектах без потери их четкости, слитности и без нарушения их ориентации.
 6. Показано, что позиционное чувство взора обладает определенным диапазоном нечувствительности к движениям глаз, пороговое значение которого прямо пропорционально ширине взора по всем 4 пространственным измерениям и может достигать нескольких угловых градусов.
 7. Установлено наличие гистерезиса в динамике фокусировки и дефокусировки внимания — сжатия зоны внимания в направлении находящегося внутри нее большого целевого стимула происходит достаточно плавно с постоянной радиальной скоростью порядка 50 %/с, замедляясь при подходе к зоне порогового различения, тогда как процесс расширения зоны внимания происходит значительно быстрее и мало зависит от диапазона дефокусировки. Предполагается существование двух разных стратегий перестройки пространственного внимания, связанных с изменением зоны внимания: аналоговая и дискретная.
 8. Выделены два компонента процесса зрительного пространственного внимания в ответ на предупреждающий сигнал — активационный и ориентировочный, которые по-разному сказываются на эффективности перцептивной обработки (детекция). Активационный компонент неспецифическим образом повышает скорость реагирования и действует на интервале нескольких секунд, тогда как ориентировочный компонент действует на коротких временных промежутках (250 мс) и может принести как дополнительный выигрыш, так и проигрыш по времени обнаружения.
 9. Новые феномены восприятия стабильности видимого мира, полученные в наших экспериментах с узким полем зрения и с последовательными образами естественного окружения, позволяют заключить, что пространственно-временная целостность, стабильность и безграничность видимого мира, включающего и самого наблюдателя, является не результатом взаимодействия сетчаточных и эфферентных сигналов о движении, а экологически валидным условием адек-

ватной ориентировки человека в пространстве и организации его двигательной активности.

10. Условием поддержания стабильности видимого мира является эффективное управление пространственной динамикой взора, включающее способность захватывать зрительную цель, удерживать на ней фокусировку как во время движений глаз, так и между ними, а также отстройку от предыдущей цели в любой момент времени, определяемый ходом выполнения решаемой задачи. При нарушении привычной координации между динамикой пространственного внимания и глагодвигательного контура управления, или между сдвигом внимания и последующими визуальными событиями, решением воспринимающей системы может быть переключение пространственной системы отчета с экзосенческой на эгоцентрическую, т.е. перенос экологического постулата стабильности с внешнего мира на схему тела наблюдателя.
11. Показано, что пространственные стратегии взора при считывания текстовой информации формируются и функционируют с учетом психофизических, топографических и динамических условий предъявления, и при этом находятся под контролем процессов фонологической, лексической, грамматической и семантической переработки текстовой информации. Существует широкий диапазон инвариантности скорости чтения относительно стимульных условий предъявления текстовых элементов (размер знака, контраст, ширина строки, скорость и направление движения строки), внутри которого пространственная динамика взора определяется только способностью к пониманию прочитанного.
12. Детальное и многоаспектное изучение отдельных составляющих процесса чтения, рассматриваемого как модель автоматизированного когнитивного навыка, позволяло уточнить взаимосвязи между циклами перемещения взора и траекторными движениями глаз. Показано, что адекватная реконструкция динамики взора и контролируемых ее процессов понимания не может ограничиваться только подсчетом амплитуд отдельных саккад, длительности и распределении межсаккадических интервалов. В качестве единицы такого анализа должны рассматриваться циклы перевода взора, которым соответствуют пространственно-динамические паттерны глагодвигательной активности, учитывающие кинематические характеристики саккад (коэффициент усиления, скоростной профиль), параметры предыдущей и последующей саккады, дирекциональность и скорость межсаккадических дрейфов.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях автора:

Монографии:

1. Белопольский В.И. Взор человека: механизмы, модели, функции. М.: Изд-во Института психологии РАН, 2007. 416 с.
2. Барабанщиков В.А., Белопольский В.И. Стабильность видимого мира. М.: Изд-во Института психологии РАН, 2008. 304 с.

Методические пособия:

3. Белопольский В.И., Лови О.В. Руководство по использованию зрительно-моторного гештальт-теста Бисндер. М.: Когито-Центр, 40 с. 1-е изд. — 1996, 2-е изд. — 2003. 3-е изд. — 2008.

Статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК:

4. Белопольский В.И. Белопольский А.В. Временная динамика эффекта предупреждающего сигнала в задаче обнаружения // Психологический журнал 2007. Т.28(6). С. 51–58.
5. Белопольский В.И. Возрастные изменения в скорости чтения в условиях статического и динамического предъявления текстов // Вопросы психологии, 2007, №4. С. 36–45.
6. Белопольский В.И. Взор человека: его природа и функции // Вестник МГОУ, Серия «Психологические науки», 2007. № 4. С.13–20.
7. Belopolsky V.I. Frame and metrics for the reference signal. Behavioral and Brain Sciences. 1994. V. 17(2). P. 313–314.
8. Belopolsky V.I. The spatial dimension in visual attention and saccades. Behavioral and Brain Sciences. 1993. V. 16(3). P. 570–571.
9. Белопольский В.И., Гусев В.В., Курочкин А.Л. О взаимосвязи между читаемостью текста и уровнем овладения навыком чтения // Психологический журнал, 1992, Т. 13(5). С. 48–56.
10. Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю. Фотоэлектрический метод регистрации ротаторных движений глаз человека // Космическая биология и авиакосмическая медицина, 1990. Т. 24(5). С. 51–53.
11. Белопольский В.И. Внешнее и внутреннее управление размером зоны фокального зрительного внимания // Сенсорные системы, 1989. Т. 3(1). С. 48–55.

12. Белополюский В.И., Каптелинин В.Н. Зрительное опознавание слов: Роль частотности и грамматической преднастройки // Психологический журнал, 1988, Т. 9(5). С. 35–44.
13. Белополюский В.И. / Селективное внимание и управление движениями глаз // Психологический журнал, 1985. Т. 6(3). С.56–73.
14. Барабанщиков В.А., Белополюский В.И., Вергилес Н.Ю. Оптические методы трансформации зрительной обратной связи // Психологический журнал, 1980. Т.1(3). С. 85–94.
15. Белополюский В.И., Вергилес Н.Ю. Адаптивная реакция глазодвижительной системы на изменение величины зрительной обратной связи // Физиология человека. 1979. Т. 3(3). С. 543–550.
16. Белополюский В.И. Движения глаз и психологические процессы // Вопросы психологии 1977. №2. С. 171–174.

Статьи в других рецензируемых журналах, коллективных монографиях и сборниках:

17. Белополюский В.И. Психофизическая оценка читаемости статической и движущейся текстовой информации, предъявленной на внешних рекламных носителях // Психофизика сегодня. М.: Изд-во Институт психологии РАН. 2007. С. 233–247.
18. Белополюский В.И. Восприятие // Психология XXI века. М.: Пер Сэ, 2003. С.169–189.
19. Белополюский В.И. Восприятие // Современная психология. М.: Инфра-М, 1999. С.137–155.
20. Белополюский В.И. Стабильность видимого мира как проблема визуальной экологии // Ментальная репрезентация: динамика и структура. М.: Изд-во Институт психологии РАН. 1998. С. 291–317.
21. Belopolsky V.I. Spatial reading strategies, used by average and fast readers // Journal of Russian and East European Psychology (USA), 1995 (Sept.-Oct.). P.21–50.
22. Belopolsky V.I., Bezdenezhnykh B.N. & Lovy O.V. Brain potential and eye movement correlates of fixational load under gaze-free conditions // Supercomputing in Brain Research: From Tomography to Neural Networks, Proceedings of the Workshop HLRZ, KFA Julich, Germany, 21-23 November. 1994. / H.J.Herrmann, D.E.Wolf & E.Poppel (Eds.) World Scientific, 1995. P.111–116.

23. Белополюский В.И. Психологические основы восприятия печатной рекламы // Психология предпринимательской деятельности / Под ред. В.А.Бодрова. М.: Изд-во Института психологии РАН, 1995. С. 152–173.
24. Belopolsky, V.I., Dubrovsky, V.I. & Lovy, O.V. Reading from VDT under different spatio-temporal modes of presentation // Proceedings of East-West International Conference on Human-Computer Interaction — EWHCI'94. August 2-6, 1994, Saint Petersburg, Russia., ICSTI: Moscow, 1994. V.II. P. 29–36.
25. Dubrovsky V.I., Belopolsky, V.I. Interactive dynamic text presentation as the computer aids for reading // Proceedings of East-West International Conference on Human-Computer Interaction EWHCI'94. August 2-6, 1994, Saint Petersburg, Russia. ICSTI: Moscow, 1994 V.I. P.273–275
26. Logvinenko A.D., Belopolsky V.I. Convergence as a cue for distance // Perception, 1994. V. 23. P. 207–217.
27. Belopolsky V.I., Dubrovsky V.E. Dynamic presentation of magnified graphical characters on the IBM-compatible computers. Behavioral Research Methods, Instruments and Computers. 1994, V. 26 (2), P. 125–127.
28. Белополюский В.И. Стратегии чтения // Библиотека, 1992, N.2. С. 45–46.
29. Белополюский В.И. О сигнале управления движениями глаз // Управление движениями. М.: Наука, 1990. С.136–143.
30. Белополюский В.И. Механизмы зрительной пространственной ориентации человека относительно гравитационной вертикали // Системный анализ сенсорно-перцептивных процессов. М.: 1989. С.26–73.
31. Белополюский В.И., Шкопоров Н.Б. / О функциях взора человека в межличностном взаимодействии // Вопросы психологии межличностного познания. Краснодар: 1985. С. 185–191.
32. Барабанщиков В.А., Белополюский В.И. / Функциональная гибкость глазодвигательной системы // Мозг и психические процессы. М.: Наука, 1984. С. 230–235.
33. Белополюский В.И., Никонов А.В. Некоторые особенности взаимосвязи речевых и глазодвигательных процессов в деятельности человека // Проблемы инженерной психологии. Ч.2. Л.: 1984. С. 17–19.
34. Белополюский В.И., Никонов А.В. / О критериях стабилизации операторской деятельности, совмещенной с ведением репортажа // Психологическая устойчивость профессиональной деятельности. Ярославль: 1984. С. 20–23
35. Barabanshikov V.A., Belopolsky V.I., Vergiles N.Yu. / Optical methods of transformation of visual feedback // Soviet Psychology (USA), 1981-1982, V.20, N.2, P. 80–95.

36. Barabanshikov V.A., Belopolsky V.I. The functional flexibility of the human eye movement control system // *Proceedings of Soviet-Finnish Symposium on Psychophysiology*, 14-16.04.1981, Moscow; Helsinki, 1982. P. 359-366.
37. Белополюский В.И., Усманов М.М. Об активности чувственного отражения // *Социальные науки в Узбекистане*. 1982, №1. С. 38-47.
38. Белополюский В.И. Механизмы зрительной деятельности при ограничении поля зрения // *Психологические аспекты человеческой деятельности*. Т.1. М.: 1978. С. 101-117.
39. Барабанщиков В.А., Белополюский В.И., Вергилес Н.Ю. Метод оптической трансформации зрительной обратной связи в исследованиях глазодвигательной системы человека // *Движение глаз и зрительное восприятие*. М.: Наука, 1978. С. 71-83.
40. Белополюский В.И. Исследование глазодвигательной системы в условиях варьирования величины зрительной обратной связи // *Движение глаз и зрительное восприятие*. М.: Наука, 1978. С. 84-117.
41. Белополюский В.И. О механизмах стабильности видимого мира при ограничении поля зрения // *Движение глаз и зрительное восприятие*. М.: Наука, 1978. С. 171-182.
42. Луук А.Г., Барабанщиков В.А., Белополюский В.И. Движения глаз и проблема стабильности воспринимаемого мира // *Ученые записки Тартуского у-та*. Вып.429, 1977. С. 121-167.
43. Vergiles N.Yu., Barabanshikov V.A., Belopolsky V.I. Varying the magnitude of visual feedback as a method of visual system investigation // *Information processing in visual system*. Leningrad, 1976. P. 30-38.

Тезисы докладов

44. Белополюский В.И. Взор человека как психологическая проблема // *Тенденции развития современной психологической науки*. М.: Изд-во Институт психологии РАН. 2007. С.22-24.
45. Belopolsky V.I., Belopolsky A.V. Time course of warning effect in detection task // *Cognitive Psychology in Europe. Book of abstracts X Congress ESCP*. 1998. P. 157.
46. Belopolsky V.I. Eye movement control while inspecting afterimage of natural surrounding: evidence against efferent contribution to visual stability. Ninth European Conference on Eye Movements, Ulm, 1997. P.13.
47. Belopolsky V.I. Reading efficiency for stationary vs gliding texts: Developmental aspect // *Cognitive Psychology in Europe. Proceedings of the Ninth Conference of the European*

- Society for Cognitive Psychology / J.Hoffmann & A.Se bald (Eds.). P.133. Pabst Science, 1996.
48. Belopolsky V.I. Visual stability: Ecological considerations // *International Journal of Psychology*, v.31 (3-4), 1996. P.182.
 49. Belopolsky V. Does the word frequency effect exist for different parts of speech? // *Abstracts of 8th Conference of the European Society for Cognitive Psychology*. Rome: Edizioni Kappa, 1995. P.5.
 50. Belopolsky V.I. Spatial reading strategies, used by average and fast readers // *Journal of Russian and East European Psychology (USA)*, 1995 (Sept.-Oct.). P.21-50.
 51. Belopolsky V.I. Sustained and transient attention states in stimulus detection performance // *Abstracts of 7th Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Lisbon*, 1994. P. 10-11.
 52. Belopolsky V.I. Visual processing during advanced reading // *Perception*, 23, Suppl., 1994. P. 100-101.
 53. Belopolsky V.I. Sensory vs voluntary control of eye movements: experiments with plural afterimages // *Proceedings of the Seventh European Conference on Eye Movements, Durham, August 31st - September 3rd, 1993*. P.8.
 54. Belopolsky V.I. Spatial format of a text and the strategies used by normal and fast readers // C.Bundesen and A. Larsen (Eds) // *Proceedings of the Sixth Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Copenhagen*. 1993. P. 42.
 55. Белополюский В.И. Торзионные движения глаз и ориентация человека относительно гравитационной вертикали // *Материалы XXI Гагаринских чтений по авиации и космонавтике, Секция: Проблемы авиакосмической медицины и психологии*, М., 1991. С.82-84.
 56. Belopolsky V.I. Saccade fractionation ability // *Perception (Gr. Brit.)*, 1991, v.20, N1. P. A53.
 57. Belopolsky V.I. Visual fixation as an attentional state // *Abstracts of the Fifth International Congress of Psychophysiology, Budapest, Hungary, July 9-13, 1990*. P.21.
 58. Belopolsky V.I. Time-course of size specific selection // *Proceedings of the Second International Conference on Visual Search, Durham, 3-6 September, 1990*. P.13.
 59. Belopolsky V.I. Torsional vestibulo-ocular reflex (TVOR) during active and passive head tilting in humans // *Abstracts of Sixth International Symposium "Motor Control 89", Albena, Bulgaria, 1989*. P.13.

60. Belopolsky V.I. Attentional spatio-temporal dynamics as a basis for search and acquisition of information // Extended Abstracts of International Workshop "Neurocomputers and Attention", Pushchino (USSR), 1989. P.16-17.
61. Белополюский В.И., Каптелина В.Н., Головина Г.М. Зрительное опознание слов и чтение // Материалы всесоюзной научно-практической конференции "Психолого-педагогические проблемы обучения технике чтения, смысловому восприятию и пониманию текста". М., 1989. С.18-20.
62. Belopolsky V.I. External and internal control of spatial visual attention // Perception (Gr. Brit.), 1989, v.18, N4 P. A43.
63. Belopolsky V.I. Eye movement parameters during reading of moving text // Perception (Gr. Brit.), 1989, v.18, N4. P. A42.
64. Belopolsky V.I. Towards a model of visual spatial attention // Psychophysiology of cognitive processes. Proceedings of 3-th Soviet-Finnish Symposium on Psychophysiology, Moscow 1988. P. 96-100.
65. Belopolsky V.I. Spatial incompatibility of the cue and target stimuli: towards a visual attention model // Perception (Gr. Brit.), 1988, N8. P. A56.
66. Belopolsky V.I. Towards a model of visual spatial attention // Psychophysiology 88. Proceedings of the Fourth Conference of the International Organization of Psychophysiology. Prague, September 12-17, 1988, P.30.
67. Белополюский В.И., Веселков А.Ф. Диалоговая компьютерная система для формирования экспериментальных процедур, ориентированных на изучение когнитивных процессов // Автоматизированные системы реального времени для эргономических исследований, Тарту, 1988. С. 37-39.
68. Белополюский В.И. Факторы, влияющие на динамику функционального поля зрения // Проблемы диагностики и управления состоянием человека. М., 1984. С. 16-17.
69. Белополюский В.И. / Некоторые закономерности считывания текстовой информации // Проблемы инженерной психологии. Ч.2, Л., 1984. С. 16-17.
70. Белополюский В.И., Никонов А.Б. Некоторые особенности взаимосвязи речевых и глазодвигательных процессов в деятельности человека // Проблемы инженерной психологии, Ч.2, Л., 1984. С. 17-19.
71. Белополюский В.И., Никонов А.Б. Функциональная структура диспетчерского репортажа // Мышление и общение в конкретных видах практической деятельности. Ярославль, 1984. С. 101-102.

72. Белопольский В.И., Никонов А.Б. О критериях стабилизации операторской деятельности, совмещенной с ведением репортажа // Психологическая устойчивость профессиональной деятельности, 1984. С.20–23.
73. Белопольский В.И. Механизмы чтения движущегося текста // Тезисы докладов конференции по экспериментальной психологии, Львов, 1983. С. 8–9.
74. Белопольский В.И. Оpozнание, внимание и движения глаз // Психические процессы, Ч. 1. М., 1983. С. 86–88.
75. Белопольский В.И. Динамика функционального поля зрения в процессе чтения // Тезисы докладов VIII-й закавказской конференции по психологии. Ереван, 1980. С. 190–191.
76. Varabanschikov V.A., Belopolsky V.I. Eye movements and dynamics of visual perception // Abstract Guide XXIIInd International Congress of Psychology, 1980, Leipzig DDR, V.1. P. 91.
77. Барабанщиков В.А., Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю. Новый метод стабилизации объекта относительно сетчатки // Проблемы инженерной психологии. 1979. С. 16–17.
78. Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю. Исследование динамики функционального поля зрения в процессе решения перцептивных задач // Деятельность и психические процессы. Москва, 1977. С. 120.
79. Барабанщиков В.А., Белопольский В.И. Экстрасетчаточная информация о движениях глаз и стабильность видимого мира // Деятельность и психические процессы. М., 1977. С. 118.