

А. В. Дубасова. ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ ВО ВРЕМЯ ЧТЕНИЯ: От общих теорий к частным

Оглавление

0. Введение	1
1. Из истории изучения движений глаз	2
2. Методика изучения движений глаз при чтении и основные понятия	6
3. Основные факты, касающиеся движений глаз при чтении	8
4. Краткий обзор моделей управления движениями глаз во время чтения	11
5. E-Z Reader (SAS)	17
6. SWIFT (GAG)	23
7. Mr. Chips («Идеальный наблюдатель»)	26
8. SERIF (РОС)	28
9. E-Z Reader, SWIFT и SERIF	34
10. Процессы чтения и лексическая неоднозначность: к постановке проблемы	37
11. Основные факты о движениях глаз во время обработки неоднозначных слов	38
12. Теории снятия лексической неоднозначности	42
13. Заключение	45
Библиография	47

0. Введение

Чтение, как развёрнутая во времени активность, давно изучается в психологии и физиологии с помощью методики регистрации движений глаз (Величковский, 2006: 126). С помощью данной методики проверены и уточнены факты, установленные ранее; открыты и изучены новые закономерности; разработаны теории, объясняющие механизмы чтения, а также способы разрешения трудностей, возникающих при чтении.

В настоящем обзоре преследуются две основные задачи:

1. проследить историю изучения движений глаз от самых первых таких попыток до создания сложных теорий, подробно описывающих и объясняющих процессы чтения с учётом большого количества эмпирических данных; дать представление о дискуссии, которая ведётся авторами таких теорий;
2. представить основные достижения в области изучения лексической неоднозначности: каким образом, с позиции различных психолингвистических теорий,

хранятся в ментальном лексиконе и обрабатываются при чтении омонимичные и полисемичные слова; как происходит понимание неоднозначных текстов, какие факторы на это влияют.

Цель обзора: изложить основные факты и подходы, касающиеся движений глаз во время чтения, как с точки зрения наиболее *общих* моделей, включающих большое число закономерностей, так и с точки зрения *частных* теорий, описывающих механизмы, приводимые в действие в условиях лексической неоднозначности.

1. Из истории изучения движений глаз

Первые работы, в которых так или иначе затрагивается проблематика, связанная с движениями глаз, были работами в области так называемой физиологической оптики¹, и первоначально прогресс здесь был напрямую связан с развитием знаний об устройстве глаз и зрения вообще. При этом исследователи опирались не только на метод наблюдения и самонаблюдения, но применяли также доступные оптические устройства.

До XIX века можно говорить лишь об отдельных трудах, которые отдалённо касались движений глаз (например, «Книга оптики» Ибн ал-Хайсама (XI век), который, в частности, пришёл к выводу о том, что для того, чтобы понимать, как устроено зрение, недостаточно понимать лишь *оптическое* строение глаза; или труды Леонардо да Винчи).

В XIX веке исследования движений глаз начинались с описаний глаза как физиологического и механически движущегося объекта. Наиболее серьёзная (но отнюдь не первая) попытка была сделана изобретателем офтальмоскопа² (1850 г.), немецким физиком Германом фон Гельмгольцем в книге *Handbuch der Physiologischen Optik* (1866).

Затем физиологический подход был постепенно вытеснен интересом к психологическим аспектам обработки зрительной информации.

Ещё в 1840-х гг. встречаются размышления об отношениях между центральным и периферическим зрением, например у известного немецкого физиолога Альфреда Фолькмана (см., напр., Holland, 2001).

В последующие десятилетия наблюдаются более тщательные попытки интерпретации движений глаз.

В 1879 году известный французский офтальмолог Луи Эмиль Жаваль использовал для наблюдения за движениями глаз при чтении зеркало и обнаружил, что глаза перемещаются не непрерывно и плавно, а совершают быстрые короткие движения

¹ В современном понимании *физиологическая оптика* – раздел физиологии и оптики, изучающий закономерности восприятия света органом зрения и зрительным анализатором человека. Вообще же попытки понять устройство человеческого глаза берут своё начало ещё в античности.

² Прибор для исследования внутренней поверхности глаза.

(названные им *саккадами*), перемежающиеся короткими остановками (*фиксациями*). Считается, что именно с этого момента начинается первый этап современного изучения движений глаз во время чтения (см., напр., Фёдорова, 2008; Rayner, 1998; Eye movement in language reading, 2010).

В 1883 году М. Ламар впервые использовал для исследования движений глаз механическое устройство: он поместил на верхнее веко испытуемого тупую иглу. Игла улавливала звук, создаваемый каждой саккадой, и передавала его в виде слабого щелчка в ухо экспериментатору через усиливающую мембрану и резиновый шланг. Ламар применил данное устройство, полагая, что саккады легче воспринимать и регистрировать на слух, нежели визуально (Lamare, M. (1893). Des mouvements des yeux pendant la lecture, Comptes rendus de la société française d'ophthalmologie, 35–64).

В 1889 году Эдмунд Бурке Делабарр изобрёл систему записи движений глаз непосредственно на вращающийся барабан с помощью иглы звукоснимателя, соединённой с роговицей (Delabarre, E. B. (1898). A method of recording eye-movements, Psychological Review 8, 572–74).

Другие устройства, использующие физический контакт с поверхностью глаз, были разработаны и использовались с конца XIX века до конца 1920-х гг. XX века; в них применялись такие детали, как резиновые шарики и глазные шапочки.

Такие механические устройства имели серьёзные недостатки: из-за нестабильности физического контакта страдала точность измерений, участники опытов испытывали значительный дискомфорт, под вопросом оказывалась и доказательная сила таких опытов, поскольку экспериментальная ситуация была далека от обычной ситуации чтения.

Одним из способов решения названных проблем стало использование электромагнитного излучения, в частности, света.

В 1898 году Б. Эрдманн и Р. Додж применили следующий метод для оценки средней длительности фиксаций и длины саккады: на роговицу направлялся луч света, фокусируемый системой линз, его отражение затем записывалось на съёмную фотографическую пластину. Их результаты отличались поразительной точностью для того времени. Кроме того, они показали, что во время саккад человек не воспринимает окружающий мир (или воспринимает крайне ограниченно) – этот вывод позднее был подтверждён на более сложном оборудовании (Uttal & Smith, 1968)³.

Фотографические пластины Эрдманна и Доджа вскоре были заменены фотографической плёнкой, но в целом их установка была не очень удобна: все части устройства во время экспериментов должны были быть точно выровнены, что было

³ Так называемое саккадическое подавление (saccadic suppression).

довольно сложно, кроме того, на точность отрицательно влияло и искривление, неизбежно вызываемое дифракционным качеством линз⁴. Помимо этого, обычно приходилось фиксировать голову испытуемых, для чего использовались неудобные зажимы для головы или пластинки для закусывания.

В 1922 году Шотт впервые применил электроокулографию (*electro-oculography* (EOG)) – метод, основанный на измерении разности электрических потенциалов роговицы и сетчатки глаза⁵ (Schott, E. (1922). Über die Registrierung des Nystagmus und anderer Augenbewegungen vermittels des Saitengalvanometers, Deutsches Archiv für klinisches Medizin 140, 79–90). Применение данного метода значительно улучшило точность и надёжность результатов исследований.

Таким образом, первые устройства слежения за движениями глаз были двух видов:

1. устройства, в основе которых лежал непосредственный механический контакт между испытуемым и записывающим инструментом, и
2. устройства, использующие свет или иное электромагнитное излучение.

С помощью этих устройств исследователи подтверждали свои наблюдения. В рассматриваемый период были открыты многие базовые закономерности и особенности движений глаз во время чтения, связанные с центральным и периферическим зрением, задержками саккад (временем, которое необходимо, чтобы начать движение глаз), саккадическим подавлением.

20-е гг. XX века принято считать началом следующего (второго) периода изучения движений глаз.

Важными работами этого периода являются работы М. А. Тинкера (напр., Tinker, 1946; Tinker, 1958) и исследования Дж. Бузвела. Последний создал первый бесконтактный аппарат для регистрации движений глаз, при помощи которого Бузвел изучал движения глаз при чтении и рассматривании картин (Buswell, 1935; Buswell, 1937).

С конца 1950-х и до середины 1970-х в западной науке здесь наблюдается спад, который Рейнер связывает с выводами Тинкера о том, что всё, что можно было изучить, уже изучено.

В это же время широкую известность получают работы советского биофизика Альфреда Лукьяновича Ярбуса. Ярбус исследовал движения глаз с помощью особого устройства: резиновой присоски с радиоантенной, которая крепилась непосредственно на

⁴ Искажения присущи абсолютно любой, даже самой современной и дорогостоящей, оптике из-за физических свойств стекла, имеющего на разных участках различную оптическую плотность.

⁵ В современной медицине в усовершенствованном виде применяется до сих пор для исследования функции глазодвигательных мышц или функционального состояния наружных слоев сетчатки. Метод основан на биофизических свойствах глаза: роговая оболочка глазного яблока электроположительна, его сетчатка – электроотрицательна.

склере глаза испытуемого; голова испытуемого фиксировалась в металлической рамке; во время эксперимента испытуемый должен был держать во рту специальную пластину. Данная технология не получила распространения, однако позволила Ярбусу сделать ряд наблюдений. В своей книге, переведённой в 1967 г. на английский язык, Ярбус подробно освещает различные методики исследования движений глаз и рассматривает движения глаз в разных ситуациях (например, при рассматривании статических объектов и при рассматривании движущихся объектов). Движениями глаз во время чтения сам Ярбус не занимался, поэтому этой проблеме посвящён лишь небольшой подраздел в главе «Движения глаз во время восприятия сложных объектов» (Yarbus, 1967).

Конец второго – начало третьего периода изучения движений глаз характеризуются дальнейшим развитием технологий слежений (*eye-tracking technologies*), началом использования компьютерных технологий (что позволило увеличить мощность оборудования, а также записывать и обрабатывать огромное количество данных), возникновением когнитивной психологии как теоретической и методологической основы, в рамках которой стали изучаться процессы чтения.

Третий период изучения движений глаз начался в середине 70-х годов XX века. Помимо упомянутого технического прогресса, период отмечен успехами лингвистики. В это время развиваются и новые методики изучения движений глаз (о чём подробнее ниже). Благодаря появлению новых методов, возрастающей точности измерений и сравнительной лёгкости проведения экспериментов, этот период характеризуется значительным прорывом в области изучения движений глаз.

Четвёртый период начинается с середины-конца 1990-х гг. и *в целом* для данной области может быть связан с развитием ай-треккеров со свободным положением головы и расширением, благодаря этому, поля исследований (Фёдорова, 2008). Что же касается движений глаз *во время чтения*, то здесь ключевыми стали разработки сложных моделей управления движениями глаз (как теоретических, так и в виде компьютерных симуляций). Значительное число исследований последних 10–15 лет проводилось с целью подтвердить или опровергнуть ту или иную модель. Наряду с собственно экспериментами и анализом корпуса движений глаз, эти модели играют огромную роль в развитии понимания процесса чтения (Rayner, 1998).

История изучения движений глаз кратко представлена в Таблице 1.

Таблица 1. Периоды изучения движений глаз

период	краткая характеристика	основные достижения
0 (от античности до 1879 г.)	предваряющий период; работы в области физиологической оптики	открытия, связанные с устройством глаза и зрительной системы
1 (1879 – 20-е гг. XX в.)	начинаются исследования движений глаз в современном понимании; появляются первые устройства слежения за движениями глаз (механические и электромагнитные)	базовые факты, касающиеся движений глаз (характеристики фиксации и саккад; особенности центрального и периферического зрения и под.)
2 (20-е гг. XX в. – сер. 70-х гг. XX в.)	появляется первый бесконтактный аппарат для регистрации движений глаз; в западной науке наступает спад, в отечественной – подъём, связанный с работами Ярбуса	ряд наблюдений, касающихся как чтения, так и рассматривания вообще
3 (сер. 70-х гг. XX в. – сер.-к. 90-х гг.)	дальнейшее развитие технологий, увеличение мощности оборудования; разрабатываются новые экспериментальные методики	растущий объём записанных и обработанных данных; теоретической и методологической основой исследований становится когнитивная психология
4 (сер.-к. 90-х гг. по наст. вр.)	появляются ай-трекеры со свободным положением головы; разрабатываются сложные компьютерные модели управления движениями глаз, стимулировавшие рост экспериментов и исследований	расширение области применения технологий слежения; конкурирующие и совершенствующиеся модели чтения позволяют глубже проникнуть в механизмы процесса чтения

2. Методика изучения движений глаз при чтении и основные понятия

Основная методика, разработанная, как упоминалось выше, в третий период изучения движений глаз, – это **методика, при которой зрительная информация постоянно меняется в зависимости от текущей позиции взгляда** (*gaze-contingency paradigm*)⁶. Система следит за движениями глаз и меняет стимулы на мониторе в момент перемещений глаз либо в какой-либо момент фиксации (см., напр., McConkie & Rayner, 1975). Таким образом возможно управлять информацией, поступающей по зрительным каналам.

⁶ Метод применяется не только при изучении процесса чтения, но и при изучении других процессов (например, при изучении движения глаз во время занятий спортом, при рассматривании произведений искусства, управлении самолётом, узнавании лиц и выражений лица, чтении нот и др.)

Эта методика стала основой различных экспериментальных методов, каждый из которых позволяет исследовать специфические когнитивные процессы.

а. **метод подвижного окна** (*the moving window paradigm*) (напр., McConkie & Rayner, 1975): зрительная информация в центре фиксации взгляда (в области фовеа) отображается нормально, а остальная часть искажается (удаляется или заменяется цепочками иксов);

б. **метод движущейся рамки** (*the moving mask paradigm*) (напр., Rayner & Bertera, 1979): метод, противоположный предыдущему: динамически затемняется (или заменяется иксами) центр зрительного поля, а периферия отображается нормально.

в. **метод границы** (*the boundary paradigm*) (напр., Balota, Pollatsek & Rayner, 1985; Mielliet & Sparrow, 2004): прайм, находящийся в парафовеальной области, заменяется целевым стимулом при пересечении взглядом невидимой границы вокруг целевой области. **Метод границы** похож на **метод подвижного окна** в том смысле, что обе процедуры могут быть использованы для исследования последствий невозможности нормальной парафовеальной обработки. Однако **метод границы** предпочтительней, когда: а) необходимо точно оценить последствия возможности / невозможности парафовеальной обработки *определённых* целевых слов; б) необходимо предотвратить использование испытуемыми необычных стратегий чтения (при **методе границы** испытуемые, как правило, не замечают изменений на мониторе).

г. **метод увеличения парафовеального текста** (*the parafoveal magnification paradigm*) (напр., Mielliet, O'Donnell & Sereno, 2009): во время каждой фиксации текст в парафовеальной области увеличивается, и таким образом его воздействие на восприятие уравнивается с воздействием текста в фовеальной области (компенсируется эффект ухудшения чёткости зрения вне фокуса взгляда).

д. **метод исчезающего текста** (*the disappearing-text paradigm*) (напр., Liversedge et al., 2004; Rayner et al., 2003): метод, при котором либо текущее⁷ слово, либо текущее слово вместе с словом, находящимся справа от него, исчезает по истечении определённого времени, прошедшего с начала первой фиксации на слове.

Все эти методы успешно применяются для исследования отдельных аспектов процесса естественного чтения: области зрительного восприятия (**метод подвижного окна**; напр., McConkie & Rayner, 1975), сущности экстрафовеальной (т.е. воспринимаемой за пределами центральной области сетчатки) информации, например, орфографической и фонологической (**метод границы**; напр., Balota, Pollatsek & Rayner, 1985; Mielliet & Sparrow,

⁷ Здесь и далее под «текущим словом» будет пониматься слово, зафиксированное в данный момент времени взглядом (fixated word).

2004), влияния чёткости зрения в парафовеальной области на область восприятия (*метод увеличения парафовеального текста*; напр., Miellet, O'Donnell & Sereno, 2009) и др.

Данная методика позволила более тщательно исследовать обработку зрительной информации (в частности, временные характеристики), область восприятия при чтении, особенности центральной vs. периферической обработки.

3. Основные факты, касающиеся движений глаз при чтении⁸

Для чтения характерен пилообразный узор последовательного сканирования текста слева направо и сверху вниз либо в противоположном направлении, в зависимости от системы письма.

Движения глаз при этом (и вообще при свободном рассматривании) представляют собой чередование неподвижных **фиксаций** (продолжительностью от 100 до 2000 мс, в среднем – 200–250 мс) и чрезвычайно быстрых скачков из одной точки фиксации в другую – **саккад**. При этом соотношение длительностей фиксаций и саккад значительно варьируется даже у одного человека в пределах одного фрагмента текста.

На слове может быть одна или несколько фиксаций. На длительность фиксаций и общую продолжительность рассматривания слова влияют определённые свойства данного слова, а в некоторых случаях – и окружающих слов (частотность, предсказуемость, длина и др.).

Расстояние, на которое перемещаются глаза во время каждой саккады, – от 1 до 20 символов, в среднем 7–9 символов. Амплитуда саккадических движений – от нескольких угловых минут (при микроскачках) до нескольких градусов (например, если переводить взор из левой части поля зрения в правую). Длительность саккад примерно пропорциональна амплитуде и варьирует от 10 до 80 мс. Средняя скорость саккады также пропорциональна амплитуде и составляет 200–600 град/сек.

При осуществлении саккады последовательно решаются три задачи: определяется момент начала скачка; обеспечивается определённая скорость перемещения; вычисляется момент остановки (выбирается место следующей фиксации).

Следствием высокой скорости саккад является тот факт, что во время саккады, а также непосредственно до и после, практически невозможно восприятие какой-либо зрительной информации. Информация поступает в обрабатывающую систему во время фиксаций.

⁸ Использовались данные (Фёдорова, 2008; Rayner, 1998; Величковский, 2006), описания отдельных моделей чтения, а также анатомические описания.

При чтении пропускается (не фиксируется взглядом) около 25–30% процентов слов (при этом короткие слова пропускаются намного чаще, чем длинные; на процент пропусков влияют также (но в меньшей степени) предсказуемость и частотность слова).

При чтении наблюдаются возвраты глаз к уже прочитанным местам, называемые *регрессиями*. Регрессии могут составлять 10–15% всех саккад, причём их число пропорционально субъективной сложности текста.

Область восприятия текста (или функциональное поле зрения) во время фиксации ограничена 3–4-мя буквами слева от фиксации и 14–15-ю буквами справа от фиксации (McConkie & Rayner, 1975; Rayner & Bertera, 1979; Rayner, McConkie, & Zola, 1980).

Модели управления движениями глаз, характерные, как было сказано выше, для четвёртого (текущего) периода исследований, пытаются объединить и объяснить указанные, а также более частные факты.

Чтобы понимать логику построения той или иной модели (а также закономерности движений глаз), следует иметь представление об особенностях строения человеческого глаза. Подробное описание строения глаза выходит за рамки данного обзора, однако некоторые сведения упомянуть необходимо.

Глазное яблоко состоит из оболочек, которые с функциональной точки зрения подразделяют на три аппарата: светопреломляющий, аккомодационный и сенсорный / рецепторный аппарат.

Светопреломляющий аппарат глаза формирует на *сетчатке* уменьшенное и перевёрнутое изображение внешнего мира. Аккомодационный аппарат обеспечивает фокусировку изображения на сетчатке (настройку на видение близко расположенных объектов и удалённых предметов), а также приспособление глаза к интенсивности освещения. Эти два аппарата формируют оптическую систему глаза. Нас, в первую очередь, будет интересовать третий, рецепторный, аппарат (зрительная часть сетчатки и зрительный нерв), отвечающий за непосредственное восприятие света и передачу информации в центральную нервную систему.

Сетчатка представляет собой сложное переплетение нервных клеток и нервных волокон, соединяющих нервные клетки между собой и связывающих глаз с корой головного мозга. Основными светочувствительными элементами (рецепторами) сетчатки являются два вида клеток: палочки и колбочки, различающиеся по своим функциям: палочки обладают большей чувствительностью, но не различают цветов и являются аппаратом сумеречного зрения (зрения при слабом освещении); колбочки чувствительны

к цветам, но зато менее чувствительны к свету и поэтому являются аппаратом дневного зрения.

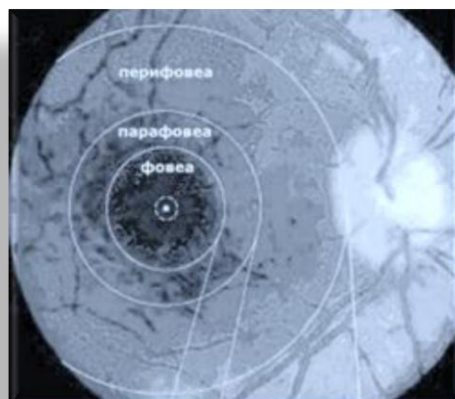
На сетчатке имеется особая область, лежащая немного в стороне от оптической оси, называемая из-за своего цвета жёлтым пятном (*macula lutea*). Эта часть сетчатки имеет в середине небольшое углубление – центральную ямку, или фовеа, отвечающую за ясное центральное зрение. В области жёлтого пятна преобладают колбочки, а палочек очень мало (в фовеа их нет совсем); к периферии сетчатки, наоборот, число колбочек быстро уменьшается и остаются одни только палочки; т. е. *распределение палочек и колбочек меняется от центра к периферии*. Диаметр жёлтого пятна составляет около 1 мм, а соответствующее ему поле зрения глаза – 6–8°; диаметр центральной ямки (фовеа) равен примерно 0,4 мм, а поле зрения составляет около 1°.

Только в жёлтом пятне к большинству колбочек подходят отдельные волокна зрительного нерва, поэтому только в этой области глаз может различать тонкие детали. В остальных местах сетчатки целые группы рецепторов, занимающих сравнительно большую площадь, одновременно передают свое раздражение одному нервному волокну, и воспринимаемая сознанием картина становится грубой, лишённой деталей. Всякое отклонение изображения в сторону от фовеа влечёт за собой уменьшение чёткости изображения, а когда изображение сходит с жёлтого пятна, то различение мелких деталей предмета совершенно прекращается. С этим свойством мы будем неоднократно сталкиваться при анализе моделей управления движениями глаз при чтении.

Кроме того, нам понадобятся следующие понятия, связанные со строением глаза:

- фовеа, фовеальное зрение (зрение, обеспечиваемое областью фовеа), фовеальная информация (информация, переданная в центральную нервную систему из области фовеа); точки фиксации движений глаз при чтении, таким образом, всегда находятся в области фовеа;
- парафовеа, парафовеальное зрение (зрение, обеспечиваемое областью парафовеа), парафовеальная информация (информация, переданная в центральную нервную систему из области парафовеа);
- экстрафовеальный – относящийся к области, лежащей за пределами фовеа (более общее определение, по сравнению с «парафовеальный»).

На Рисунке 1 можно видеть анатомическое строение жёлтого пятна.



Области парафовеа и перифовеа относятся к периферии жёлтого пятна, области вне парафовеа и перифовеа – к периферии сетчатки. В исследованиях чтения нередко отождествляются понятия «фовеальное зрение» и «центральное зрение», «парафовеальное зрение» и «периферическое зрение», при этом под первым понимается зрение, обеспечивающее восприятие букв, фиксируемых взглядом (осуществляется рецепторами области фовеа и характеризуется максимальной остротой зрения), а под вторым – зрение, обеспечивающее восприятие букв, *не* фиксируемых взглядом (предоставляет информацию о длине и очертаниях слова, а также о границах между словами и о границах текста в целом).

В связи с данным противопоставлением важно следующее: многие экспериментальные данные подтверждают факт частичной обработки слов парафовеальным зрением. Парафовеальный предварительный просмотр слова (*parafoveal preview*) уменьшает время его последующей фиксации – этот эффект носит название *parafoveal preview benefit* и учитывается большинством современных моделей чтения.

4. Краткий обзор моделей управления движениями глаз во время чтения

Технологии слежения за движениями глаз позволяют точно измерить длительность фиксаций и саккад во время чтения, зафиксировать направление взгляда, проследить траекторию скачков. Благодаря изучению движений глаз, были получены ответы на вопросы о том, как локализуется внимание, как идентифицируются слова, как происходит лингвистическая обработка текста, какие когнитивные процессы участвуют в дешифровке печатного текста и мн. др. (см., напр., Rayner, 1998).

В тоже время вопрос о том, что *управляет* движениями глаз при чтении, долгое время оставался в большой степени вопросом методологическим. Тем не менее, часть

⁹ http://www.lutein.ru/library/2007/07/16/library_17.html

исследователей сосредоточила свои усилия на попытках глубже понять связь между глазом и сознанием и изучить когнитивные процессы, отвечающие за принятие решений, управляющих саккадами.

Как уже отмечалось, для осуществления саккады зрительной системе требуется решить три задачи, из которых нас будут интересовать две: определить момент начала саккады и вычислить момент её остановки, то есть выбрать место следующей фиксации. В теории движений глаз эти две задачи обычно объединяются термином «программирование саккады». Первую из задач обозначим как «выбор момента старта», вторую – «выбор цели».

Исследователи механизма управления движениями глаз при чтении должны были ответить на следующие вопросы:

- как происходит программирование и осуществление саккады, и в особенности – каким образом выбирается цель саккады;
- какую роль играет внимание в посредничестве между движениями глаз и лексической обработкой текста,
- как те или иные свойства лингвистической обработки проявляются в движениях глаз при чтении (Rayner, 1998).

Но главное – необходимо было понять не только то, как различные задействованные системы работают изолированно, но и то, как они взаимодействуют друг с другом.

Очевидно, что поставленная цель (понять механизм управления движениями глаз, когнитивные и некогнитивные процессы, его формирующие, а также их взаимосвязи) достаточно сложна. Однако именно эта цель способствовала разработке некоторого количества формальных моделей управления движениями глаз.

Все современные модели управления движениями глаз во время чтения (далее для краткости «модели чтения») представляют собой точные алгоритмы, делающие возможными их компьютерную симуляцию; модели снабжены подробными описаниями и математическими формулами, они учитывают значительное число эмпирических данных и описывают когнитивные и / или глазодвигательные ограничения, управляющие процессом чтения. Но делают они это различными способами.

Ранние модели чтения (возникшие ещё в третий период изучения движений глаз) можно разделить на два класса:

(1) *модели, управляемые на когнитивном уровне*: в качестве причины движений глаз выступает завершение некоторого когнитивного события (обычно идентификации слова) (напр., Rayner & Pollatsek, 1989); и

(2) *модели, управляемые на глазодвигательном уровне*: движением глаз управляет глазодвигательная система (напр., O'Regan, 1990).

Как показало дальнейшее развитие моделей чтения, следует учитывать оба уровня – как когнитивный, так и глазодвигательный (зрительно-моторный). В частности, одна из наиболее известных когнитивно-ориентированных моделей чтения E–Z Reader постулирует, что сигнал программировать следующую саккаду глазодвигательной системе подаёт ранняя стадия лексической обработки слова. В другой когнитивно-ориентированной модели (SWIFT) утверждается, что в случае трудностей с лексической обработкой слова саккада может быть остановлена (приоритет управления на когнитивном уровне); если же трудностей не возникает, то саккады осуществляются через произвольные интервалы времени (достаточно управления на глазодвигательном уровне).

Ещё одно важное различие современных моделей чтения состоит в том, какая роль отводится в модели вниманию. Здесь имеется ряд допущений. Две из моделей (Competition/Interaction и SHARE) предполагают, что внимание играет лишь незначительную роль в управлении движениями глаз при чтении. В противоположность этому, в модели E–Z Reader утверждается, что в каждый момент времени внимание фиксируется на одном слове, и сдвиг внимания происходит строго последовательно. В моделях Glenmore и SWIFT внимание может быть распределено одновременно на несколько слов (обрабатываемых параллельно).

Современные модели чтения можно разделить на три группы, которые существенно различаются между собой целями и основными принципами:

- «идеальный наблюдатель»;
- когнитивно-ориентированные модели;
- зрительно-моторные модели.

Рассмотрим эти группы.

1. «ИДЕАЛЬНЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ» (*Ideal Observer*)¹⁰.

Данная модель, представленная реализацией в виде компьютерной программы «Mr. Chips», стоит в этом перечне особняком, поскольку не является в строгом смысле моделью чтения, точнее, не является моделью чтения **человека**, хотя и основана на базовых фактах о том, как устроен процесс чтения.

¹⁰ В психологии «идеальный наблюдатель» – это теоретическое представление о совершенном наблюдателе, сенсорная и перцептивная системы которого действуют без ошибок и лишены предубежденности. Это понятие используется при обсуждении сенсорных и перцептивных систем в качестве абстракции, с которой сравнивается «реальный» наблюдатель. (Психологическая энциклопедия: http://mirslovarei.com/content_psy/IDEALNYJ-NABLJUDATEL-23926.html)

«Идеальный наблюдатель» не ставит своей целью моделировать выполнение той или иной задачи человеком; задача «идеального наблюдателя» – моделировать такое выполнение задачи, какое ожидается при оптимальном использовании доступной информации.

Первой такой моделью является, по-видимому, модель (Hecht, S., Shlaer, S., & Pirenne, M. H. (1942). Energy, quanta, and vision. *Journal of General Physiology*, 25, 819–840). Впоследствии «идеальные наблюдатели» использовались при изучении как простых задач (см. Geisler, 1989), так и при изучении более сложных задач обработки зрительной информации, например: определение симметричности зеркала (Barlow & Reeves, 1979), распознавание плотности точки (Barlow, 1978), распознавание количества точек на экране (Burgess & Barlow, 1983), распознавание букв (Parish & Sperling, 1991; Chung, Legge, & Tjan, 2002; Pelli et al., 2006), распознавание объектов (Liu, Knill, & Kersten, 1995; Tjan et al., 1995).

Во всех этих работах идеальное выполнение связано с оптимальным использованием информации:

а. Если выполнение задачи человеком *совпадает* с идеальным выполнением, делается вывод о том, что человек использует *всю* доступную информацию и что возможные ограничения, накладываемые на выполнение, описываются ограничениями, определёнными в модели. Отсюда, однако, не следует, что человек должен использовать тот же алгоритм, что и «идеальный наблюдатель», поскольку одна и та же цель может быть достигнута более чем одним алгоритмом.

б. Если человек выполняет задачу хуже, чем модель, то различия могут указывать на дополнительные ограничения, с которыми сталкивается человек, но не сталкивается «идеальный наблюдатель».

в. Может случиться и так, что человек справляется с задачей лучше, чем «идеальный наблюдатель» – это означает, что «идеальному наблюдателю» недоступна какая-то информация, используемая человеком. Такой результат может служить основанием для исключения тех или иных теорий; в частности, именно таким образом был исключён целый класс теорий, предполагавших, что для распознавание объекта достаточно применения двумерной стратегии (Liu et al., 1995). (по: Legge et al., 2002).

В модели Mr. Chips (Legge et al., 2002; первая версия опубликована в 1997 году) модель «идеального наблюдателя» применяется к чтению. Эта модель является «идеальным наблюдателем» в том смысле, что: а. представляет *идеальную* стратегию чтения (чтение с минимальным количеством саккад, осуществляемое последовательно и без ошибок), б. описывает ограничения, влияющие на понимание информации.

Mr. Chips – это *первая современная* модель чтения (наиболее популярная модель E-Z Reader появляется на год позже). Описание модели представлено ниже.

2. КОГНИТИВНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ.

Когнитивно-ориентированные модели утверждают, что движениями глаз управляют процессы лексической обработки. В той или иной степени такие модели учитывают и зрительно-моторные факторы.

В свою очередь, эти модели делятся на два основных направления:

- *Serial Attention Shift (SAS)* с реализациями E-Z Reader, EMMA и др.
- *Guidance by Attentional Gradients (GAG)* с реализациями SWIFT, Glenmore и др.

В моделях SAS лексическая обработка слова тесно связана с *последовательным* сдвигом внимания от слова к слову; слова обрабатываются в порядке их появления в тексте; в фокусе внимания может быть только одно слово (напр., Morrison, 1984; Reichle et al., 1998; Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003).

Модели SAS предполагают тесную связь лексической обработки, сдвигов внимания и движений глаз. Эти модели опираются на предположение Моррисона (Morrison, 1984) о том, что скрытый сдвиг внимания к следующему слову происходит одновременно с запуском программирования саккады к этому слову. В тот же момент начинается лексическая обработка этого (парафовеального) слова. Если обработка парафовеального слова завершается до того, как саккада осуществляется (что вполне вероятно для лёгких и предсказуемых слов), то происходит перепрограммирование саккады к другому слову, следующему за пропускаемым. Данный механизм даёт, таким образом, объяснение выборочному пропуску коротких высокочастотных слов.

Авторы статьи (Reichle et al., 1998) предположили, что: (1) лексическая обработка происходит в два этапа (оценка знакомости слова и последующий поиск слова в лексиконе), и (2) программирование саккады также осуществляется в две фазы. С этой статьи начинается развитие самой известной модели – E-Z Reader.

В этой модели программирование саккады к следующему слову и лексическая обработка текущего слова происходят одновременно с момента завершения проверки знакомости слова. Перепрограммирование саккады возможно только на первой фазе. Скрытый сдвиг внимания к следующему слову происходит после завершения лексической обработки, независимо от фазы саккадического программирования. Частичная независимость лексической и зрительно-моторной программ выходит за рамки модели Моррисона и служит для объяснения средних длительностей фиксаций и вероятности пропуска слов в связи с частотностью слова, а также – отрицательного влияния трудности обработки фовеального слова на последующую обработку парафовеального слова (в этом случае парафовеальное слово обрабатывается дольше по сравнению с этим же словом, следующим за лёгким (например, высокочастотным) фовеальным словом). В следующей

версии модель расширяется, включив параметры зрительно-моторного контроля и тем самым – достижения зрительно-моторных моделей. Дальнейшее развитие модели будет представлено в отдельном разделе.

В моделях GAG возможна *параллельная* обработка сразу нескольких слов, внимание не сфокусировано на одном слове, но распределено по всей области восприятия текста по принципу градиента таким образом, что чем ближе слово к фовеальной области, тем выше скорость его обработки, т. е. слова в парафовеальной области обрабатываются медленней (Engbert, Longtin, & Kliegl, 2002; Reilly & Radach, 2003).

В (Inhoff et al., 2000) предложена следующая концепция моделей GAG:

(1) **Все** слова в области восприятия текста подвергаются лексическому анализу (Inhoff et al., 2000; Schroyens et al., 1999).

(2) Внимание распределяется на основе градиентных значений (направляясь на слова с наибольшими значениями).

(3) Градиентные значения определяются местом фиксации (например, текущее слово получает более высокое значение) и успешностью лингвистического анализа (более высокое значение получают сложные для распознавания слова).

(4) Успешное распознавание слова или последовательности слов может привести к изменению градиентных значений, внимание перераспределяется (фактически «уходит» из области уже идентифицированных слов и направляется на соседние не распознанные слова).

(5) Саккады программируются в направлении нового центра внимания.

Наиболее известная реализация модели GAG – SWIFT – обсуждается подробнее ниже.

3. ЗРИТЕЛЬНО-МОТОРНЫЕ МОДЕЛИ.

К зрительно-моторным моделям относятся модели, утверждающие приоритет глазодвигательного управления (*Primarily Oculomotor Control, POC*); сюда относятся модели SERIF, Competition/Activation, SHARE.

В моделях *POC* значительная часть вариативности в длительности фиксаций возникает вследствие свойств зрительно-моторной системы (McConkie, Kerr, & Dyre, 1994; Reilly & O'Regan, 1998; Suppes, 1990, 1994; Yang & McConkie, 2001). Эти модели хорошо объясняют распределение мест фиксаций на словах и пропуск слов (McConkie et al., 1988). Важность лексических процессов при этом не отвергается, но они играют относительно незначительную, корректирующую, роль. Сторонники других моделей признают, что при

естественном чтении многие эффекты лексической обработки могут, в конечном счёте, быть побочным явлением процессов зрительно-моторной системы.

Рассмотрим упомянутые модели и их наиболее известные реализации подробнее.

5. E-Z Reader (SAS)

Модель E-Z Reader (от фонетического образа первого буквосочетания, произносимого как «easy» = англ. «легкий» и «reader» = англ. «читатель») представляет собой семейство когнитивно-ориентированных моделей (Reichle et al., 1998; Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003; Rayner et al., 2004; Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006). Во всех версиях этой модели движениями глаз во время чтения управляют процессы лексической обработки. В последней версии данной модели, E-Z Reader 10¹¹ (Reichle, Warren, & McConnell, 2009), представлена попытка включить влияние на движения глаз переменных более высокого уровня. E-Z Reader является самой детальной моделью чтения, объединяющей значительное количество известных на сегодня фактов. С точки зрения авторов модели, её достоинство состоит в том, что она достаточно просто показывает, каким образом когнитивные процессы управляют движениями глаз при чтении.

Модель построена на двух ключевых положениях:

1) (как уже упоминалось) в каждый момент времени внимание фиксируется только на одном слове, сдвиг внимания происходит строго *последовательно* (что не означает невозможность параллельных процессов, как можно будет видеть чуть ниже);

2) программирование саккады запускается механизмом лексической обработки.

Лексическая обработка слова происходит в две стадии (на обе стадии влияют частотность и предсказуемость слова).

На начальной стадии L1 (длящейся несколько миллисекунд) оценивается *знакомость* текущего слова *n*. Завершение этой стадии запускает процесс программирования следующей саккады (посылается соответствующий сигнал зрительно-моторной системе). На выбор места следующей фиксации влияет также относящееся к вниманию низкоуровневое сканирование, действующее *параллельно* с лексической обработкой (такое сканирование, в частности, определяет границы слова; обеспечивается оно периферическим зрением).

На следующей стадии лексической обработки, L2, происходит поиск слова в лексиконе. Завершение этой стадии приводит к сдвигу внимания к слову *n+1*, обработка которого также проходит две стадии. Однако если слово *n+1* является высокочастотным

¹¹ Скачать программу можно здесь: <http://www.pitt.edu/~reichle/ezreader.html>

или легко предсказуемым, обе стадии обработки могут завершиться и *до* сдвига внимания к слову $n+1$; в этом случае внимание сдвигается сразу к слову $n+2$, запускается программирование саккады к слову $n+2$, а саккада к слову $n+1$, соответственно, отменяется (при условии, что предыдущая саккадическая программа не прошла критическую точку).

Иными словами, ход обработки зависит от соотношения частотности и предсказуемости текущего и следующего слова. Если текущее слово является низкочастотным, то на его обработку уйдёт практически всё время фиксации, и следующее слово также будет обрабатываться в два этапа, даже если оно является высокочастотным (так называемый «эффект перелива», *spillover effect*). Если оба слова являются высокочастотными и легко предсказуемыми (служебные слова, артикли и под.), то обработка второго слова может завершиться до скачка и не требует фиксации. Кроме того, вероятность фиксации зависит от длины слова (определяемой с помощью уже упоминавшегося низкоуровневого сканирования): чем короче слово, тем больше вероятность, что оно будет пропущено. (Авторы не исключают здесь влияния и других переменных).

Можно видеть, что внимание и лексическая обработка в модели тесно связаны друг с другом: лексическая обработка в общем случае начинается после фокусировки внимания на слове, а сдвиг внимания к следующему слову происходит после завершения заключительной стадии лексической обработки.

Положение о том, что внимание должно фокусироваться отдельно и последовательно на каждом слове (мы пока не рассматриваем частный случай пропуска слов), авторы модели аргументируют сложностью процесса восприятия слов и ссылаются на тот факт, что даже более простой процесс идентификации слов требует фокусировки внимания. Последнее подтверждает ряд исследований (напр., Pollatsek & Digman, 1977; Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Souther, 1986; Wheeler & Treisman, 2002; Wolfe, 1994; Wolfe & Bennett, 1996), в которых показано, что при отсутствии фокусировки внимания могут неправильно анализироваться даже относительно простые зрительные предъявления, и объекты воспринимаются неверно (например, вместо красного N и зелёного S – красное F).

Кроме того, последовательный сдвиг внимания является простым механизмом кодирования порядка слов при чтении (Pollatsek & Rayner, 1999). Это удобно как для языков, в которых порядок слов несёт синтаксическую информацию, так и для языков, в которых порядок слов содержит семантическую или тема-рематическую информацию.

Что касается постулирования двух стадий лексической обработки, то оно мотивируется тем фактом, что информация на сетчатке передаётся в мозг не мгновенно, а с задержкой приблизительно в 50 мс (Clark, Fan, & Hillard, 1995; Foxe & Simpson, 2002; Van Rullen & Thorpe, 2001) – E-Z Reader это время учитывает.

Наличие обработки низкоуровневой информации, происходящей параллельно с лексической обработкой, объясняет, в частности, тот факт, что необычные последовательности букв в начале слова могут влиять на длительность фиксации предыдущего слова (Inhoff et al., 2003): необычные последовательности букв могут содержать черты, которые «выскакивают» из поля зрения и замечаются читающим ещё до фиксации слова.

Эффекты подобного рода часто наблюдаются в процессе чтения и определяются как влияние парафовеальной информации на фовеальную, и наоборот. Поскольку фокусировка внимания при этом не требуется, эти эффекты не нарушают последовательную структуру E-Z Reader.

Представление о том, что программирование саккады и сдвиг внимания происходят независимо друг от друга, основано на следующем. Проверка знакомости слова – это быстрая оценка того, будет ли завершён поиск слова в лексиконе. «Зная», что поиск слова n в лексиконе завершится успешно, читающий может начинать программировать саккаду к слову $n+1$. Таким образом сокращается длительность фиксации на слове n .

Функциональное различие между двумя стадиями лексической обработки, L1 и L2, можно выразить, по крайней мере, тремя различными способами (Rayner, Pollatsek et al., 2003). Первый основан на представлении о том, что различные типы лексической информации о слове (орфографическая, фонологическая, семантическая) становятся доступны читающему в разные моменты времени, и оценка знакомости слова может быть основана на информации, доступной на ранней стадии его идентификации (например, на основании орфографической и / или фонологической информации), в то время как на второй стадии становится доступна информация семантическая.

Вторая интерпретация разделения лексической обработки на L1 и L2 согласуется с различием между быстрым процессом распознавания слова и более медленным процессом извлечения значения слова из памяти (Atkinson & Juola, 1973, 1974; Yonelinas, 2002). С учётом данного различия L1 соответствует первому, а L2 – второму.

Наконец, при третьей интерпретации стадия L1 является собственно лексической (в это время становится доступным значение слова), а стадия L2 – постлексической (значение слова интегрируется в контекст предложения).

Авторы отмечают, что данные интерпретации не исключают друг друга и не являются исчерпывающими.

Как уже отмечалось, особенности устройства сетчатки глаза таковы, что различение любых мелких деталей (в том числе, очертаний букв) ограничено областью жёлтого пятна, то есть в большинстве случаев ограничено областью фовеа. Чем дальше от центра фовеа к парафовеа, тем хуже чёткость зрения. В E-Z Reader на этом основано предположение о том, что скорость завершения стадии L1 коррелирует с чёткостью зрения (если стадия происходит в области фовеа, то скорость обработки выше). При этом подчёркивается, что на стадию L2 подобного влияния нет (так как слово уже идентифицировано на стадии L1, чёткость букв для L2 не имеет значения).

Упомянутое свойство сетчатки объясняет и ряд других эмпирических данных, например, тот факт, что идентификация слов происходит медленнее и с бóльшим процентом ошибок при несовпадении центра фовеа с центром обрабатываемого слова или если идентификация происходит в периферическом зрении (Lee et al., 2003; Rayner & Morrison, 1981). Этим же объясняется и более длительная идентификация длинных слов по сравнению с короткими (Just & Carpenter, 1980; Rayner & McConkie, 1976; Rayner et al., 1996).

Помимо описанных компонентов, модель E-Z Reader включает также глазодвигательный компонент, отвечающий за программирование саккад.

Программирование саккад в модели также происходит в две стадии, определяемых как гибкая (*labile*¹², M1; эта стадия может быть отменена) и жёсткая (*non-labile*, M2; не может быть отменена).

Данное разделение авторы основывают на результатах (Becker & Jürgens, 1979; Leff et al., 2001; McPeck et al., 2000; Molker & Fisher, 1999; Vergilino & Beauvillain, 2000), подтверждающих наличие двух стадий программирования саккады. Таким образом, если слово $n+1$ является высокочастотным и может быть пропущено, то его пропуск и скачок к слову $n+2$ осуществляется лишь в том случае, если программирование саккады к слову $n+1$ не перешло во вторую стадию («не прошло критическую точку»).

Средняя продолжительность двух этих стадий в модели составляет 125 мс, а минимальное время, необходимое для осуществления саккады, – 175 мс. Разница в 50 мс учитывает явление «саккадической задержки» (уже упоминавшийся факт, что информация с сетчатки в центральную нервную систему не передаётся мгновенно). Длительность задержки в модели (она обозначается буквой V , см. схему ниже) соответствует эмпирическим данным (Becker & Jürgens, 1979; McPeck et al., 2000; Rayner et al., 1983).

¹² Перевод термина вслед за (Величковский, 2006).

Важно следующее: внимание от слова n к слову $n+1$ может сдвигаться до того, как завершается программирование саккады к этому слову. В этом случае лексическая обработка слова $n+1$ начинается в *парафовеальной* области. При этом на возможность парафовеальной обработки слова $n+1$ влияет сложность обработки слова n : чем сложнее для читающего слово n , тем меньше вероятность «досрочного» сдвига внимания к $n+1$ и запуска его парафовеальной обработки. А чем меньше такая вероятность, тем продолжительнее последующая обработка $n+1$, так как в случае сложности слова n обработка слова $n+1$ начнётся только после осуществления саккады к этому слову, а не одновременно с заключительной стадией обработки предыдущего слова (эффект перелива).

Описанные эффекты подтверждаются в (Rayner & Duffy, 1986; Rayner et al., 1996; Henderson & Ferreira, 1990; Inhoff et al., 1989; Kennison & Clifton, 1995; Rayner, 1986; White, Rayner, & Liversedge, 2005).

E-Z Reader учитывает ещё одну важную особенность программирования и осуществления саккад, обсуждаемую, например, в (McConkie et al., 1988, 1991; O'Regan, 1990, 1992; O'Regan & Lévy-Schoen, 1987; Rayner, 1979; Rayner et al., 1996; Reichle et al., 1999): выбор места следующей фиксации не всегда реализуется в точности, иными словами, саккада может «не попасть в цель». Т. е. считается, что саккада всегда направлена в «оптимальную для обзора позицию» (*optimal viewing position*), связываемую с центром слова¹³, однако из-за моторных ошибок часто туда не попадает (фиксация происходит перед или за целью)¹⁴.

В E-Z Reader данное наблюдение реализуется следующим образом.

Прежде всего, считается, что *фактическая* длина саккады в печатных символах складывается из трёх компонентов – *запланированной* длины саккады, компонента систематических ошибок и компонента случайных ошибок.

Под компонентом систематических ошибок понимается число, на которое саккада имеет тенденцию недо- или перепрыгивать запланированную цель; это число прямо пропорционально отклонению запланированной длины саккады от предпочитаемой длины саккады и обратно пропорционально длительности фиксации на текущем слове (предпочитаемой, или оптимальной длиной саккады является длина в 7 знаков).

Компонент случайной ошибки подразумевает случайную моторную ошибку.

¹³ Это также связано с упоминавшейся особенностью устройства сетчатки: поскольку наибольшая резкость изображения связана с центром фиксации, позиция центра слова оказывается оптимальной – в этом случае слово в обе стороны просматривается с одинаковой чёткостью.

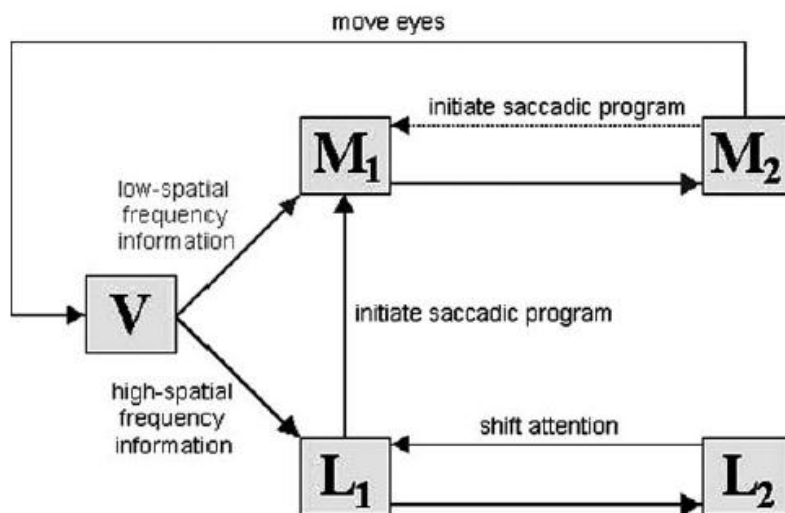
¹⁴ Несмотря на то, что центр слова является оптимальной позицией места фиксации, в ряде работ (напр., McConkie et al., 1988; Rayner, 1979) показано, что читающие имеют тенденцию фиксировать примерно половину пути между началом слова и его серединой. В (Legge et al., 2002) при описании модели Mr. Chips такая тенденция объясняется асимметричностью области восприятия у человека (именно поэтому эта область определяется как 3–4 буквы слева от фиксации и 14–15 букв – справа от фиксации).

Совокупность трёх указанных компонентов определяет фактическую длину саккады и таким образом объясняет возможное смещение места фиксации от центра слова.

С описанным явлением связано явление рефиксации (повторной фиксации) саккады, заключающееся в том, что осуществив саккаду к данному слову, читающий может дополнительно выполнить ещё одну или несколько саккад в пределах слова с целью попасть в оптимальную для обзора позицию (центр слова). Рефиксация происходит в случае, если местом первой фиксации оказалась позиция начала или конца слова. Вероятность повторной фиксации зависит от расстояния между начальной точкой фиксации и центром слова; это расстояние естественным образом возрастает с увеличением длины слова, поэтому длинные слова подвержены рефиксациям чаще, чем короткие (Vergilino & Beauvillain, 2000). А поскольку информация из глаза в мозг поступает с задержкой, то «решение» о программировании повторной саккады может быть принято только после этой задержки. Если за это время началась жёсткая стадия (M2) другой саккады, рефиксация не может быть осуществлена (модель исключает параллельное программирование саккад).

Общая схема модели E-Z Reader представлена на Рисунке 2 (Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006):

Рисунок 2. E-Z Reader



На Рисунке 2 представлено обсуждавшееся взаимодействие различных компонентов (компонента зрительной обработки, компонента лексической обработки и компонента саккадического программирования). Наиболее важными параметрами указанных компонентов являются: саккадическая задержка (V), две стадии лексической обработки (L1, L2) и две стадии программирования саккады (M1, M2). При описании моделей учитывается ещё целый ряд факторов, представленный в обзоре.

Таким образом, модель очень детально представляет значительное количество эмпирических данных, учитывая явления, связанные с частотностью и предсказуемостью слова; длиной слова; эффекты, связанные с пропуском слов и местом фиксаций. При этом в управлении движениями глаз участвуют, влияя друг на друга, как когнитивные процессы, так и зрительно-моторные (однако первые имеют приоритет).

В заключение стоит отметить, что хотя E-Z Reader – далеко не первая по времени модель чтения, именно эта модель стимулировала развитие многих других моделей, а также ряд исследований в данной области.

Главным соперником E-Z Reader обычно считается модель SWIFT.

6. SWIFT (GAG)

Модель SWIFT (*Saccade Generation with Inhibition by Foveal Targets*; Engbert, Longtin, & Kliegl, 2002, 2005; Richter, Engbert, & Kliegl, 2006) основана на представлении о *параллельной* обработке слов (парадигма GAG). Предлагаемый в модели механизм движений глаз при чтении учитывает взаимодействие зрительной, когнитивной и моторной систем. Как и E-Z Reader, SWIFT является когнитивно-ориентированной моделью.

Ключевые положения SWIFT.

- Принцип I: Обработка лексической информации распределена в пространстве (информация может обрабатываться одновременно в нескольких местах).

Принцип основан на данных нейрофизиологии (Wurtz, 1996; Rizzolatti, 1983).

- Принцип II: Выбор момента старта и выбор цели саккады происходят отдельно друг от друга.

Данный принцип также основан на данных нейрофизиологии, подтверждающих различие между временным и пространственным аспектами порождения саккады (Carpenter, 2000; Wurtz, 1996; Findlay & Walker, 1999).

- Принцип III: Генерирование саккад является автономным (не зависящим от лексической обработки) произвольным процессом, корректируемым фовеальным подавлением. Фовеальное подавление действует во время фиксации трудных слов¹⁵ (оно требуется для того, чтобы увеличить время чтения трудного слова – если бы время фиксации всегда было произвольным, этого времени могло бы не хватить).

¹⁵ Степень трудности слова определяется в модели его частотностью, а кроме того, зависит от контекста: слово может быть предсказуемо на основании предшествующих слов, и это может облегчать его лексическую обработку. В связи с этим в модель, наряду с процессом лексической обработки, включён процесс “предсказывания” слов.

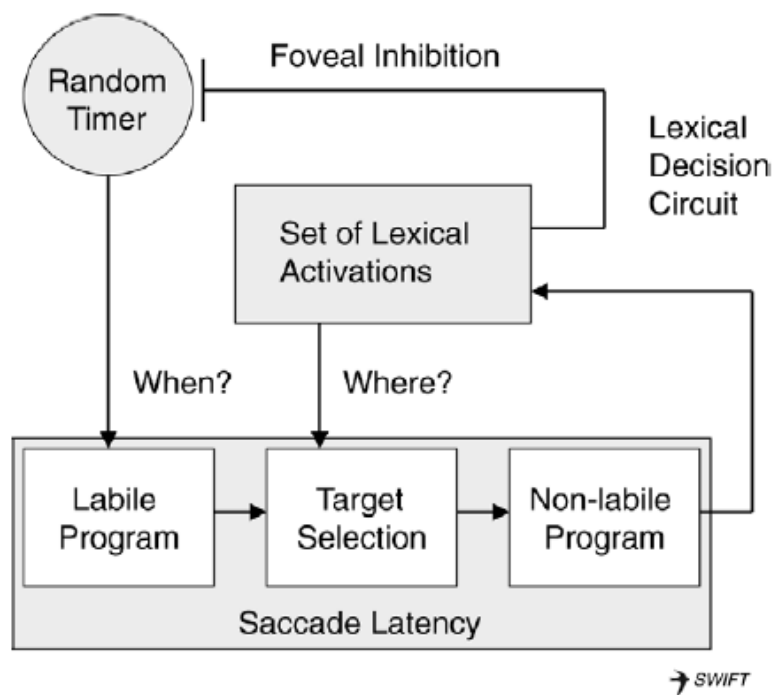
- Принцип IV: Программирование саккады происходит в две стадии. За подготовительной “гибкой” стадией следует “жёсткая” стадия, во время которой программируемая саккада уже не может быть отменена.

- Принцип V: При расчёте длины саккады возникают систематические и случайные ошибки (McConkie et al., 1988).

IV и V принципы были добавлены в модель в 2006 году и сходны с соответствующими положениями модели E–Z Reader.

Указанные принципы проиллюстрированы на Рисунке 3 (Richter, Engbert, & Kliegl, 2006).

Рисунок 3. SWIFT



На Рисунке 3 видно, что программирование саккады управляется отдельными процессами определения времени старта саккады (*When?*) и места её “приземления” (*Where?*). Генерирование саккад запускается таймером с произвольным выбором (*Random Timer*), на который может воздействовать фовеальное подавление (*Foveal Inhibition*). Саккадическая задержка включает гибкую и жёсткую стадии (*Labile / Non-labile Program*), а также выбор цели (*Target Selection*).

Set of Lexical Activations — это «динамически меняющееся поле», введённое в структуру модели в 2006 году и опирающееся на понятия теории динамического поля (Erlhagen & Schöner, 2002) и нелинейных динамических систем (Engbert, Longtin, & Kliegl, 2004). В SWIFT это поле реализует концепцию одновременной обработки нескольких слов. Принцип “работы” поля сходен с общими принципами функционирования моделей GAG,

описанными выше. В каждый момент времени каждому слову в предложении приписывается значение активации. Значение активации слова отражает текущую степень его обработки (идентификации). Конкуренция между словами с различными значениями активации определяет тип генерируемой саккады (таким образом объясняются все типы движений глаз при чтении¹⁶) и влияет на выбор цели.

В модели подчёркивается динамическая природа отношений между степенью лексической обработки и движениями глаз. Как только читающий начинает обрабатывать слово, его знание о тексте начинает возрастать. Следовательно, решение о том, куда и когда направлять глаза, меняется с течением времени и зависит от предыдущих мест фиксации.

Лексическая обработка происходит на *двух* уровнях. На первом, предварительном, уровне слово ещё не выбрано в качестве следующего места фиксации. С “технической” точки зрения, значение активации слова на первом уровне растёт до определённого максимума, по достижении которого происходит переход на второй, завершающий, уровень обработки (переход на второй уровень означает, что слово выбрано в качестве места фиксации). На предварительном уровне собирается информация о низкоуровневых свойствах слова, например, о его длине. На втором уровне лексической обработки значение активации слова уменьшается и при успешном завершении обработки достигает нуля.

В соответствии с эффектом ухудшения чёткости зрения от фовеа к парафовеа, модель предполагает, что скорость лексической обработки имеет максимальное значение в центре зрительного поля (в фовеа) и уменьшается к периферии сетчатки. Поэтому параллельно обрабатываемые слова обрабатываются с разной скоростью.

За решением запрограммировать саккаду следует старт саккады после саккадической задержки (примерно 150 мс). А поскольку степень лексической обработки, т. е. знание о словах, постоянно меняет значения лексической активации слов, саккада в данном направлении может оказаться более не нужной; в этом случае, если гибкая стадия ещё не перешла в жёсткую, происходит перепрограммирование саккады к другому слову.

В E-Z Reader, как описано выше, программирование саккады к следующему слову запускается завершением предварительной стадии лексической обработки (оценкой знакомости слова), т. е. саккада *всегда* стартует с фиксированной целью; во время гибкой стадии может произойти отмена саккады, при этом изменение цели саккады *обязательно* влияет на время её осуществления. В SWIFT же, поскольку системы “*when*” и “*where*”,

¹⁶ Например, если после фиксации на слове значение его активации сохраняет достаточно высокую позицию (в частности, в случае трудного слова), становится вероятным повторный выбор данного слова в качестве цели саккады, т. е. рефиксация.

отвечающие, соответственно, за выбор момента старта и выбор цели саккады, работают независимо друг от друга, модификация цели не влияет на какие-либо временные показатели; изменение цели не обязательно задерживает саккаду.

В модели SWIFT учитывается три типа фиксации отдельного слова: а). длительность единственной фиксации на слове, б). и в.) (для слов, фиксируемых повторно) длительность первой и дополнительной фиксаций. При этом разграничиваются *first-pass reading* и *second-pass reading* (первое сканирование (проход) определённого фрагмента текста, т. е. чтение до крайнего правого слова текущей последовательности фиксаций; второе сканирование определённого фрагмента текста). В пределах *first-pass reading* вычисляются длительности фиксаций, вероятность пропуска слова, а также вероятность и количество повторных фиксаций. В пределах *second-pass reading* вычисляется общее время чтения (сумма всех рассматриваний слова, независимо от последовательности фиксаций) и вероятность регрессий.

Итак, в первоначальной версии SWIFT продвигал, в основном, идею градиентной обработки, подразумевающей, что скорость обработки слова в фовеальной области выше скорости обработки в парафовеальной области. В расширенной версии учитывается большее количество эмпирических данных, однако, следуя принципу минимального моделирования, авторы делают попытку включить как можно меньше положений. Положения модели опираются на данные (нейро)физиологии и психологии и при этом не слишком специализированы под чтение, т. е. могут быть расширены для нужд других областей изучения движений глаз. Модель устроена таким образом, чтобы представить единый механизм, способный объяснить все типы движений глаз при чтении: прогрессивные и регрессивные саккады, повторные фиксации, пропуск слов.

7. Mr. Chips («Идеальный наблюдатель»)

Mr. Chips – это компьютерная программа, реализующая модель «идеального наблюдателя» (Legge, Klitz, and Tjan, 1997; Legge et al., 2002).

Основные цели модели: (1) изучить влияние низкоуровневых ограничений на поведение при чтении; (2) сравнить соответствующие аспекты чтения человека с поведением компьютерной модели, (3) дать теоретическое обоснование влиянию утраты части зрительного поля (при скотоме¹⁷) на чтение.

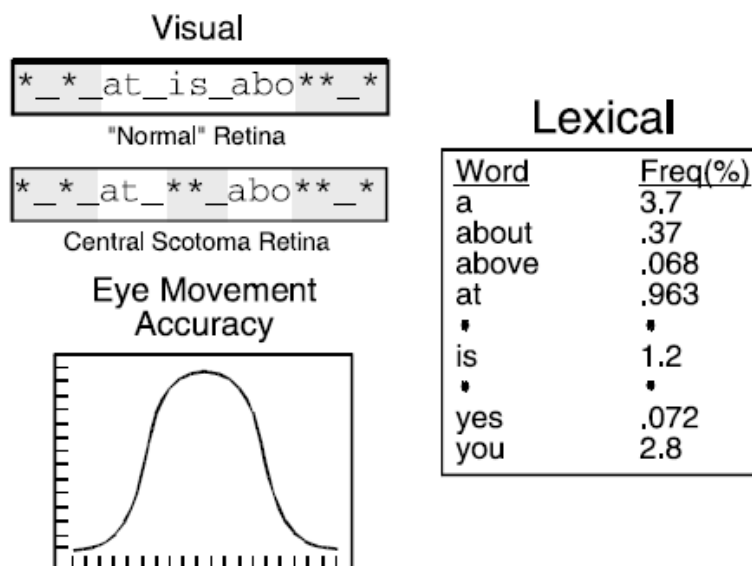
Модель оптимальным образом использует:

- зрительную информацию,
- лексическую информацию,

¹⁷ Ограниченный слепой участок (т.е. такой, где полностью отсутствует восприятие света) в поле зрения.

- информацию о точности движений глаз (см. Рисунок 4, Legge et al, 2002).

Рисунок 4. Три источника информации в Mr. Chips



1) Зрительная информация поступает через «сетчатку», которая может состоять из любой последовательности слотов с высоким (отдельные буквы могут быть идентифицированы) и низким (имеется различие только между буквами и пробелами) разрешением. На Рисунке 4 «нормальная» сетчатка имеет 9 слотов с высоким разрешением (at_is_abo) и 4 – с низким. На схеме также представлена сетчатка, имитирующая утрату части зрительного поля при скотоме. Под зрительным полем понимается последовательность смежных слотов с высоким разрешением. Чёткость всех букв при этом одинакова (в противоположность свойствам человеческого зрительного поля).

2) Лексическая информация в Mr. Chips представлена в виде лексикона, состоящего из слов и информации об их частотности.

3) Третий источник информации модели – статистическое знание о точности саккады. Изображённая на Рисунке 4 кривая Гаусса является аналогом саккадического «шума» при чтении человеком – непостоянства амплитуды и направления саккад.

Процесс чтения модели устроен следующим образом.

Текст на входе состоит из слов, извлекаемых из словаря в произвольном порядке. Задача Mr. Chips'а – читать текст с **минимальным** числом саккад, идентифицируя все слова последовательно и без ошибок.

Mr. Chips может владеть лишь частичной информацией о текущем слове (о некоторых его буквах и / или информации о его длине), в этом случае он выбирает из лексикона все подходящие слова и идентифицирует слово с помощью дополнительных саккад, стремясь к минимальному их количеству. До тех пор, пока текущее слово не

идентифицировано однозначно, он не может его покинуть. Правило оптимизации, которому следует Mr. Chips, предполагает как прогрессивные, так и регрессивные саккады.

Поиск слова в словаре, реализованный в модели, сходен с когортными моделями распознавания слов человеком (ср. Johnson & Pugh, 1994).

Психолингвист из английского Кэмбриджа Уильям Марслен-Уилсон (Marslen-Wilson, 1990) разработал когортную модель восприятия слов, согласно которой детальный фонологический анализ вообще не имеет места. На основании когнитивных ожиданий, генерируемых из контекста, и общего анализа первых звуков слова активируется предварительный список слов-кандидатов, называемый когортой. Любая последующая информация, как акустическая, так и семантико-синтаксическая, используется для удаления из когорты неподходящих слов. Обработка прерывается при удалении всех кандидатов, кроме одного (Величковский 2006: 96).

«Чтение» модели включает характерные свойства движений глаз при чтении (регрессии, пропуск слов и т.д.), однако механизмы, управляющие этими свойствами, во многом устроены совсем иначе по сравнению со свойствами человеческого чтения. Mr. Chips **не** является моделью чтения человека. Значение модели в изучении процессов чтения авторы видят в другом:

а. если «чтение» модели оказывается сходным с чтением человека (т.е. и модель, и человек сходным образом реализуют то или иное свойство процесса чтения), то принципы, на которых построено поведение модели, может объяснять соответствующее поведение человека (и стратегия человека в этом случае будет оптимальной при применении алгоритма, эквивалентного или очень близкого действиям модели в заданных условиях). Поиск оптимальной стратегии особенно важен при нарушениях зрения.

б. если «чтение» модели не соответствует чтению человека (т. е. одни и те же свойства реализуются по-разному), разумно задать вопрос, какой процесс чтения человека не охвачен моделью.

Таким образом, в отличие от других моделей чтения, Mr. Chips:

- не ставит своей целью представить модель чтения человека,
- имитирует распространённые расстройства зрения.

8. SERIF (РОС)

SERIF (*a stochastic model (S) of eye movements (E) in reading (R) incorporating (I) foveal splitting (F)*) – стохастическая (вероятностная) модель движений глаз при чтении,

учитывающая вертикальное разделение фовеа (*foveal splitting*). Модель представлена в (McDonald, Carpenter, Shillcock, 2005).

Описывая ограничения, накладываемые на задачи зрительной обработки, данная модель учитывает анатомические особенности строения зрительного аппарата человека и, в частности, точное вертикальное разделение фовеа (зрительное поле в области точки фиксации делится на *две половины*) и принцип контралатеральной проекции, который в данном случае заключается в том, что каждое полушарие мозга получает зрительную информацию из противоположной половины зрительного поля. Эти особенности структуры зрительной системы человека составляют ключевое положение SERIF, которое объединяется с вероятностной моделью расчёта времени саккадической реакции LATER (Carpenter, 1981; Carpenter & Williams, 1995; <http://www.cudos.ac.uk/later.html>).

LATER (*Linear (L) Approach (A) to Threshold (T) with Ergodic (E) Rate (R)*) описывает любые саккадические движения (не обязательно относящиеся к чтению).

Наличие саккадических задержек в LATER объясняется необходимостью принятия решений, когда и куда направить движение глаз (для того, чтобы принять такое решение, необходимо время, которое и является временем саккадической задержки; принципы модели могут быть расширены на принятие решений вообще).

Время саккадических задержек на порядок выше времени движения саккад (200 мс и 20–30 мс, соответственно). При этом с физиологической точки зрения из этих 200 мс требуется только 60 мс (40 мс необходимо нейрону, чтобы ответить на зрительный стимул, и 20 мс нужно для генерирования саккады). Увеличение задержки саккады объясняется тем, что достаточно большое количество информации уходит сразу в несколько зрительных зон коры головного мозга, каждая из которых отвечает за анализ *разных* атрибутов изображения на сетчатке.

По мнению авторов модели, SERIF предлагает новый взгляд на то, как различные факторы (связанные с анатомией, моторикой и восприятием) *вместе* влияют на движения глаз во время чтения, при этом основная роль приписывается прелингвистическим процессам.

Конечная цель исследования – определить и понять анатомические и информационные ограничения, генерирующие пространственные и временные модели саккад и фиксаций, характерные как для нормального, так и нарушенного чтения.

В фокусе внимания SERIF находится применение *foveal splitting* к временным свойствам движений глаз.

Три основных принципа и ограничения модели:

Принцип № 1. The Move Forward Principle.

Вслед за (Deubel, O'Regan, and Radach, 2000) авторы модели считают, что силой, перемещающей глаза во время чтения, является необходимость перемещать глаза вперёд

по тексту с целью обработки ещё не обработанной зрительной информации. Этот принцип отличается от базовых положений когнитивно-ориентированных моделей типа E-Z Reader, где такой силой считаются процессы лексической обработки.

Принцип № 2. *The Visual Acuity Constraint.*

Данное ограничение учитывается большинством моделей, описывающими чтение человека.

Принцип № 3. *The Split-Fovea Constraint.*

Текущее слово (обрабатываемое в области фовеа) достаточно точно делится на две половины. Начальная проекция буквенной информации из каждой половины зрительного поля поступает в противоположное полушарие головного мозга, и этот факт определяет, по крайней мере, начальную обработку текущего слова (Lavidor & Walsh, 2004; Shillcock et al., 2000).

SERIF учитывает нейрофизиологические данные, подразумевающие отдельные процессы для выбора цели саккады и для осуществления саккады (вслед за Findlay & Walker, 1999; Schall, 2002).

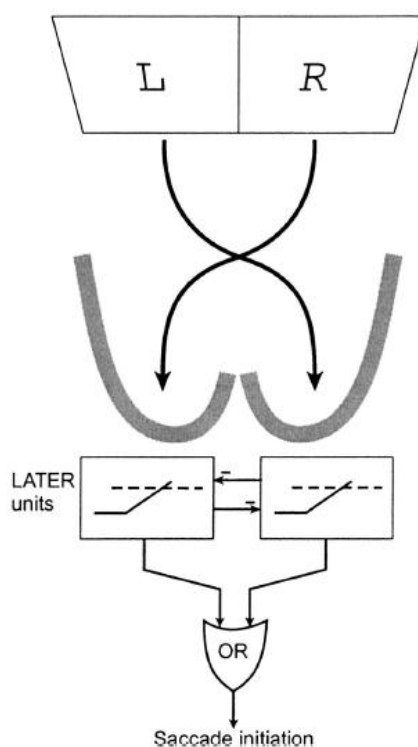
Как и SWIFT, SERIF разграничивает пространственные и временные аспекты управления движениями глаз, т. е. система “*where*” (отвечающая за выбор цели саккады) функционально изолирована от системы “*when*” (отвечающей за выбор момента старта саккады). В SERIF эти две системы **абсолютно** независимы друг от друга, т. е. длительность текущей фиксации не может влиять на амплитуду исходящей саккады или на выбор цели для этой саккады, и наоборот, ср. (Radach & Heller, 2000).

Ещё одно важное свойство SERIF, также разделяемое с моделью SWIFT, – это *вероятностная* природа обоих решений (выбора цели саккады и выбора момента старта).

Рассмотрим подробнее функционирование обеих систем, временной и пространственной.

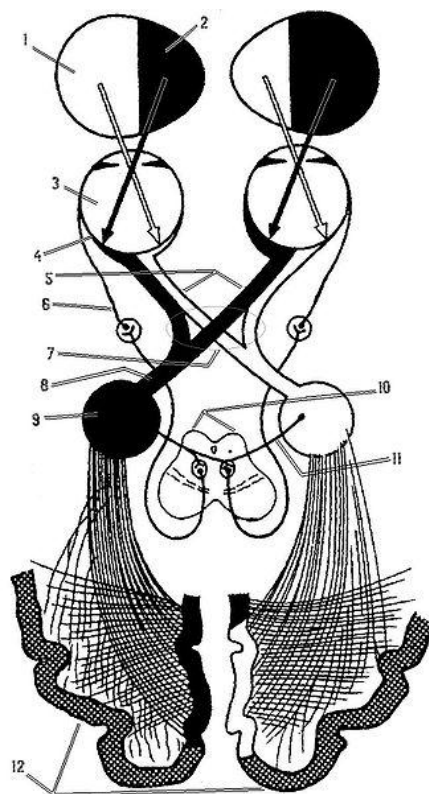
1. Временная система.

Саккадические задержки, как уже говорилось, описываются в рамках модели LATER – как время, которое требуется высшей нервной системе для инициации реакции («решения»). В SERIF модель LATER расширена теорией вертикального разделения фовеа (Shillcock et al., 2000) и состоит из двух единиц (каждая из которых может являться *совокупностью* единиц), отвечающих за принятие саккадического «решения» и представляющих своё полушарие головного мозга, см. Рисунок 5 (McDonald, Carpenter, Shillcock, 2005).



(Можно видеть, что представленная схема является отражением строения проводящих путей зрительного анализатора, ср. Рисунок 6).

Рисунок 6. Проводящие пути зрительного анализатора¹⁸



¹⁸ <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:ProvodPutiZritAnalizator.JPG>

Упомянутые единицы «соревнуются» между собой: та единица, которая достигает определённого порога, и начинает саккаду. Такая структура основана на нейрофизиологических и поведенческих данных, подразумевающих квазинезависимую обработку в обоих полушариях головного мозга. Использование двух отдельных единиц LATER абстрактно моделирует независимый вклад каждого полушария головного мозга в инициацию саккадического движения глаз.

Модель учитывает упоминавшийся факт частичной обработки слова в парафовеальной области: зрительная информация о слове, доступная до того, как слово фиксируется взглядом (т. е. информация, полученная с помощью предварительного парафовеального просмотра), влияет на степень ожидаемости стимула. Чем выше эта степень, тем короче средняя задержка перед стартом саккады. Возможность предварительного просмотра целевого слова способствует уменьшению длительностей фиксаций на этом слове и тем самым ускоряет его обработку. Наиболее сильно парафовеальный предварительный просмотр ограничен чёткостью зрения (Принцип № 2): эффект от просмотра тем значительнее, тем короче расстояние между целью саккады и предыдущим местом фиксации.

SERIF учитывает также зрительную знакомость слова, опираясь на адаптивную особенность мозга, состоящую в том, что знакомые стимулы обрабатываются быстрее незнакомых. В модели знакомость слова определяется его частотностью. Такой подход не является общепринятым в исследованиях процесса чтения: хотя другие модели также учитывают частотность слова и указывают на её влияние на длительность фиксаций на слове, они не подразумевают, что частотность является *единственным* показателем трудности лингвистической обработки.

В модели используется понятие «информационного наполнения» (*information content*), которое в общих чертах соответствует статистическим свойствам слова как последовательности букв, т. е. оценивает вероятность употребления текущего слова с учётом знания о составляющих его буквах (см. также (Stevens & Grainger, 2003)). Информационное наполнение вычисляется отдельно для каждой половины фовеально разделённого слова, зависит от места фиксации и подвержено Принципу № 2. Таким образом, оно может рассматриваться как оценка скорости, с которой информация о зрительном стимуле поступает из каждой половины зрительного поля в соответствующее полушарие головного мозга.

Наконец, важным нейрофизиологическим ограничением модели является механизм межполушарного латерального подавления: уровень активности каждой единицы LATER (от которого зависит приближение к порогу и «победа» той или иной единицы)

определяется обработкой буквенной информации противоположной половины зрительного поля и *подавляется* уровнем активности конкурирующей единицы. Это взаимодействие означает, что распределение времени саккадических задержек зависит как от места фиксации в слове, так и от информационного наполнения (в понимании модели).

2. Пространственная система.

Пространственная система SERIF состоит из трёх стадий: (а) выбора цели саккады, (б) вычисления длины саккады (расстояния от места фиксации до выбранной цели), (в) осуществления саккады.

Саккады направлены на слова, при этом осуществляемый выбор носит *вероятностный* характер: выбор отдельного слова в качестве цели саккады обеспечивает *недетерминированная* функция, включающая несколько информационных ограничений. Для того, чтобы выбрать цель следующей саккады, мозг совмещает различные источники информации о текущей ситуации и прошлый опыт.

В SWIFT, как можно было видеть, выбор цели также носит стохастический характер (отличный от SERIF): цель саккады выбирается в соответствии с вероятностной функцией уровней активации каждого члена ряда слов-«кандидатов», при этом уровень активации зависит от нескольких параметров (места фиксации, частотности и предсказуемости слова, времени, прошедшего с момента начала лексической обработки «кандидата»).

В SERIF же при текущем слове n одно из слов ($n+1$, $n+2$ или $n+3$) выбирается в качестве цели путём случайного отбора, причём вероятностная дистрибуция целей саккад может рассматриваться как кодирование оценки шансов успешного идентифицирования «кандидатов» с точки текущей фиксации. Например, если шансы идентифицировать слово $n+1$ высоки (например, это короткое слово, целиком попадающее в фовеальное поле зрения), то $n+2$ и $n+3$ скорее станут целью следующей саккады, чем $n+1$. Однако так как выбор носит вероятностный характер, то саккада может быть направлена и к $n+1$, хотя и с меньшей вероятностью. В SERIF не требуется принимать «решение» о том, какое слово выбрать в качестве места следующей фиксации, – скорее, свойства текущей зрительной конфигурации влияют на выбор цели недетерминированным образом. При этом выбор цели также ограничен Принципом № 2 (состав «кандидатов» ограничен теми, которые находятся в передней области восприятия) и Принципом № 1 (цель саккады выбирается для того, чтобы перемещать глаза вперёд по тексту).

Таким образом, SERIF расширяет модель LATER анатомическими ограничениями; при этом модель использует относительно малое число параметров, влияющих на программирование и осуществление саккад, но тем не менее позволяет объяснить ряд

явлений, свойственных процессу чтения, – отличным от других – когнитивно-ориентированных – моделей образом.

9. E-Z Reader, SWIFT и SERIF

Из представленных описаний моделей можно видеть, что их авторы по-разному учитывают те или иные факты и закономерности, связанные с чтением.

Наиболее важные отличия моделей E-Z Reader, SWIFT и SERIF (модель Mr. Chips здесь не рассматривается, так как не является моделью чтения человека) можно представить следующим образом.

1. Модели E-Z Reader и SWIFT являются когнитивно-ориентированными моделями – в них движениями глаз при чтении управляют процессы *лексической обработки* слов. Модель SERIF относится к зрительно-моторным моделям, в ней движениями глаз при чтении управляют, в основном, низкоуровневые процессы, а в качестве основной силы, перемещающей глаза во время чтения, постулируется необходимость перемещать глаза вперёд по тексту.

2. Наиболее существенное различие моделей E-Z Reader и SWIFT заключается в том, что первая принадлежит к парадигме SAS, а вторая – к парадигме GAG: в E-Z Reader лексическая обработка осуществляется строго *последовательно*, в то время как в SWIFT возможна *параллельная* лексическая обработка (одновременная обработка нескольких слов), причём одновременно обрабатываемые слова обрабатываются с *разной* скоростью.

3. Важное различие моделей E-Z Reader и SWIFT касается оценки влияния когнитивных / лексических свойств слова (частотности, предсказуемости и др.) на длительность его фиксации: в E-Z Reader именно эти характеристики управляют движением глаз во время чтения; в модели SWIFT саккады генерируются автономно, хотя влияние лексических свойств не исключается.

В модели SERIF предсказуемость слова не учитывается, а частотность слова оказывается единственным показателем трудности лингвистической обработки слова, этим SERIF отличается от целого ряда моделей чтения.

4. И в E-Z Reader, и в SWIFT постулируется две стадии лексической обработки слова, однако обоснование этих двух стадий и их содержание в моделях значительно различаются: в E-Z Reader это «оценка знакомости слова» (первая стадия) и последующий «поиск слова в лексиконе» (вторая стадия); в SWIFT это «предварительная», *до* фиксации

на слове¹⁹, стадия, на которой собирается информация о *низкоуровневых* свойствах слова и происходит увеличение значения активации слова (первая стадия), и «основная» стадия собственно лексической обработки слова, которая наступает при достижении на «предварительном» уровне определённого максимума значения активации, в результате чего слово становится местом фиксации саккады (вторая стадия).

В E-Z Reader наличие двух стадий лексической обработки мотивируется тем фактом, что информация на сетчатке передаётся в мозг не мгновенно, а с задержкой приблизительно в 50 мс²⁰; в SWIFT две стадии лексической обработки связаны с принципом работы «динамического поля» модели и выбором цели саккады.

В SERIF лексическая обработка слова как таковая подробно не рассматривается.

5. Программирование саккады в E-Z Reader и SWIFT проходит две стадии: “гибкую” и “жёсткую”, при этом в E-Z Reader программирование саккады запускается завершением первой стадии лексической обработки, саккада стартует с фиксированной целью, а в случае изменения цели (перепрограммирования саккады) обязательно увеличивается время её осуществления; в SWIFT выбор момента старта и выбор цели саккады происходят *независимо* друг от друга, поэтому изменение цели на временные показатели не влияет. В SERIF системы, отвечающие за выбор момента старта и выбор цели саккады, *абсолютно* независимы друг от друга, разграничение пространственных и временных аспектов управления движениями глаз в SERIF ещё сильнее, чем в SWIFT.

Важное свойство моделей SWIFT и SERIF, отличающее их от E-Z Reader – *вероятностная* (пусть и по-разному трактуемая) природа обеих стадий программирования саккады.

При этом, в отличие от SERIF, E-Z Reader и SWIFT при расчёте длины саккады учитывают возможность систематических и случайных ошибок.

6. Некоторые различия в прогнозных свойствах моделей E-Z Reader и SWIFT:

а. из структуры E-Z Reader следует, что при чтении слова n читающий в обычной ситуации может воспользоваться предварительным просмотром слова $n+1$, но не слова $n+2$, если только слово $n+2$ не является местом следующей фиксации (т.е. если слово $n+1$ пропускается). Данный прогноз обусловлен последовательной архитектурой E-Z Reader. В SWIFT подобного ограничения нет (предварительный просмотр слова $n+2$ возможен).

¹⁹ В E-Z Reader оценка знакомости слова также может происходить до фиксации на слове: в этом случае в фовеальной области обрабатывается текущее слово (на второй стадии лексической обработки), а в парафовеальной – следующее слово (на первой стадии лексической обработки), т.е. вторая стадия лексической обработки текущего слова может протекать *одновременно* с первой стадией лексической обработки следующего слова. В SWIFT предварительная стадия обычно имеет место в парафовеальной области.

²⁰ Оценка времени саккадической задержки у разных исследователей может не совпадать.

б. В SWIFT частотность парафовеального слова влияет на длительность фиксации фовеального слова, а E-Z Reader такого влияния не допускает.

Вопрос о влиянии парафовеальной области на фовеальную является дискуссионным (см. обзоры в Rayner & Juhasz, 2004; Rayner et al., 2003). Для алфавитных систем письма лексическое влияние парафовеа на фовеа в экспериментах (с использованием метода границы) обычно не обнаруживается, хотя имеются исключения (напр., Kliegl et al., 2007). С другой стороны, такое влияние регулярно обнаруживается при корпусном анализе движений глаз при чтении (см. также Kennedy & Pynte, 2005; Kliegl, Nuthmann, & Engbert, 2006; Kliegl, 2007; Rayner et al., 2007).

В модели E-Z Reader влияние парафовеа на фовеа обычно объясняется ошибочной локализацией фиксаций (Drieghe, Rayner, & Pollatsek, 2008; Rayner et al., 2004), т. е. из-за «шума» глазодвигательной системы или аппаратуры место фиксации может не совпадать с фокусом внимания (не совпадают фиксируемое слово и обрабатываемое). Существование ошибочных фиксаций подтверждают и последователи модели SWIFT, однако они не считают их главной причиной влияния парафовеа на фовеа.

7. Модель SERIF отличается от E-Z Reader и SWIFT следующими базовыми положениями: а. основные ограничения при чтении обусловлены вертикальным фовеальным разделением зрительного поля; б. саккадические задержки моделируются как «состязание» между двумя саккадическими единицами.

Понятие «состязания», или конкуренции существует и в модели SWIFT, однако в последней конкурируют не условные саккадические единицы (за право начать следующую саккаду), а слова с различными значениями активации, в результате чего определяются тип и цель генерируемой саккады.

Несмотря на все указанные различия, каждая из этих моделей имеет своих последователей и хорошо справляется с поставленными задачами.

Следует отметить, что описанные модели являются лишь представителями того или иного (в основном, когнитивного или зрительно-моторного) направления, причём далеко не единственными. Исчерпывающего перечня современных моделей чтения, по-видимому, не существует. Из других, не рассмотренных в обзоре, моделей, стоит упомянуть следующие: EMMA (SAS; Salvucci, 2001), Glenmore (GAG; Reilly & Radach, 2006), Competition/Activation (POC, Yang & McConkie, 2001; Yang, 2006), SHARE (POC; Feng, 2006).

10. Процессы чтения и лексическая неоднозначность: к постановке проблемы

Легко заметить, что даже когнитивно-ориентированные модели описывают чтение в наиболее общем случае, когда свойства слова мало влияют на движения глаз. Единственная характеристика, которая учитывается большинством моделей, – это частотность слова. В той или иной степени модели учитывают также и особенности контекста, но и здесь его влияние сводится к влиянию частотности одного слова на другое.

И это несмотря на значительное число исследований, давно продемонстрировавших влияние на время фиксации слова и на траекторию движений глаз во время чтения таких факторов, как семантические отношения между словами, повторы слов, омонимия и полисемия, анафора и референция, синтаксическая неоднозначность и др. (см., напр., Rayner, 1998). Изучение всех этих факторов привело, в конечном счёте, к возникновению отдельных ответвлений в рассматриваемой области. В настоящем обзоре мы остановимся на явлении лексической неоднозначности²¹ и его влиянии на «тактику» движений глаз во время чтения.

Интерес к проблеме лексической неоднозначности обусловлен *широкой распространённостью* данного явления (большинство слов любого языка имеет более одного значения) наряду с фактом, что читающие, по-видимому, почти *не испытывают трудностей в понимании* неоднозначных текстов. Отсюда следует, что проблемы, которые должны были бы возникать из-за неоднозначности, каким-то образом снимаются; изучая, как именно это происходит, можно лучше понять, каким образом процессы, необходимые для идентификации слов, взаимодействуют с различными процессами более высокого уровня, необходимыми для понимания языка (Reichle et al., 2006).

Успешная обработка любых слов в тексте предполагает не только последовательный доступ к значениям встречающихся слов, но и толкование этих значений таким образом, чтобы они были совместимы с контекстом. В случае многозначного слова этот процесс оказывается особенно интересным, поскольку читающий так или иначе должен *выбрать* нужное значение многозначного слова. Как осуществляется такой выбор? От чего он зависит? В более общем виде этот вопрос можно задать следующим образом: как мы интерпретируем фразы, когда доступной информации недостаточно для точного и однозначного толкования фразы? (Frazier & Rayner, 1990)

Если предшествующий контекст не позволяет определить, в каком значении употреблено слово в данном предложении, – получает ли читающий доступ сразу ко *всем*

²¹ В этом термине объединяются понятия многозначности и омонимичности.

значениям многозначного слова или только к одному из них (например, к более распространённому)?

Что именно происходит, если многозначному слову *предшествует* контекст, позволяющий определить значение этого слова в данном предложении? Опять же – получает ли читающий доступ сразу ко *всем* значениям многозначного слова или только к нужному значению (соответственно, делает ли читающий выбор подходящего значения только после активации *всех* значений слова или сразу, до активации «ненужных» значений)? Как и когда значение слова интегрируется в общий смысл предложения?

Благодаря методике регистрации движений глаз, в данном направлении были достигнуты немалые успехи. Удалось не только установить, какие факторы влияют на снятие лексической неоднозначности (Dopkins, Morris, & Rayner, 1992; Duffy et al., 1988; Pacht & Rayner, 1993; Rayner & Duffy, 1986; Rayner & Frazier, 1989; Sereno, O'Donnell, & Rayner, 2006; Sereno, Pacht, & Rayner, 1992), но и создать ряд теорий, описывающих механизмы, участвующие в разрешении неоднозначности (Pacht & Rayner, 1993). Кроме того, появились и попытки включить теории, касающиеся разрешения лексической неоднозначности, в рамки более общих теорий управления движениями глаз во время чтения; цель таких исследований – определить, в какой мере теоретические описания механизмов снятия лексической неоднозначности и движения глаз при чтении неоднозначных текстов коррелируют друг с другом, и установить факторы, которые должна учитывать любая модель чтения (Reichle et al., 2006).

11. Основные факты о движениях глаз во время обработки неоднозначных слов

Поясним некоторые понятия, которыми оперируют теории снятия лексической неоднозначности.

Отдельные значения многозначного слова могут быть вполне равноправными (имеющими примерно одинаковую собственную частотность), однако нередко одни значения такого слова встречаются в языке (письменном или устном) чаще, другие – реже. На этом построено важное для теорий снятия лексической неоднозначности разграничение *сбалансированных* и *несбалансированных* многозначных слов (*balanced ambiguous words* / *biased ambiguous words*). В сбалансированном многозначном слове (напр., англ. *case*) отдельные его значения распространены в языке примерно одинаково, а в несбалансированном многозначном слове (напр., англ. *port*) одно из значений (в данном случае ‘порт’) встречается в языке намного чаще другого (‘портвейн’). В

несбалансированном многозначном слове²² различают, соответственно, **доминантное** (*dominant*) и **подчинённое** (*subordinate*) значения. Относительные частотности значений многозначного слова определяют так называемую **приоритетность** значений (*meaning dominance*), которая, наряду с влиянием контекста, являются одним из наиболее важных факторов, участвующих в разрешении лексической неоднозначности.

Таким же образом (на сбалансированные и несбалансированные и далее) делятся и омонимичные слова, разница лишь в том, что в случае многозначного слова сравниваются частотности *значений*, а в случае омонимов – частотности *слов*. Общая схема остаётся при этом неизменной, см. Рисунок 7.

Рисунок 7. Структура неоднозначных слов



Примечание: Ч1, Ч2, Ч3... – частотности отдельных значений многозначного слова или частотности слов-омонимов.

²² Далее для краткости вместо «сбалансированное многозначное слово» и «несбалансированное многозначное слово» могут употребляться, соответственно, «сбалансированное слово» и «несбалансированное слово».

О движениях глаз во время чтения неоднозначных слов известно следующее.

Читающие смотрят на *сбалансированное* многозначное слово²³ дольше, чем на *несбалансированное* (Rayner & Frazier, 1989) или контрольное²⁴, если сбалансированному слову *не* предшествует разрешающий контекст²⁵ (Duffy et al., 1988; Rayner & Duffy, 1986). Нет никакой разницы между контрольным словом и *сбалансированным*, если последнему *предшествует* разрешающий контекст, а также нет разницы между контрольным и *несбалансированным* (Duffy et al., 1988), за исключением случаев, когда предшествующий или последующий контекст иллюстрирует *подчинённое* значение несбалансированного слова.

Таким образом, «тактика» движений глаз во время чтения неоднозначных текстов определяется различиями между сбалансированным и несбалансированным многозначным словом, а также различным влиянием разрешающего контекста на обработку сбалансированных и несбалансированных слов (Rayner et al., 2006; см. также Binder & Morris, 1995; Dopkins, Morris, & Rayner, 1992; Duffy, Morris, & Rayner, 1988; Kambe et al., 2001; Rayner & Frazier, 1989; Rayner, Pacht, & Duffy, 1994; Sereno, O'Donnell, & Rayner, 2006; Sereno, Pacht, & Rayner, 1992).

В (Reichle et al., 2006) предложена следующая интерпретация указанных фактов.

Условия, в которых встречается многозначное слово, можно разделить на:

1. нейтральные ("*no conflict*" conditions):
 - a. сбалансированному слову предшествует разрешающий контекст (*balanced-prior-context*),
 - b. несбалансированному слову *не* предшествует разрешающий контекст (*biased-no-prior-context*);
2. конфликтные ("*conflict*" conditions):
 - a. несбалансированному слову предшествует контекст, иллюстрирующий подчинённое значение слова (*biased-prior-context*),
 - b. сбалансированному слову не предшествует разрешающий контекст (*balanced-no-prior-context*).

²³ Поскольку омонимия представляет собой значительно более редкое явление по сравнению с полисемией, здесь основное внимание уделяется последней. Однако все изложенные факты с соответствующей коррекцией справедливы и для омонимичных слов.

²⁴ В экспериментах такие однозначные контрольные слова были той же длины, частотности и уместности в предложении, что и многозначные.

²⁵ Здесь и далее под разрешающим контекстом будет пониматься контекст, устраняющий лексическую неоднозначность.

1.a. Когда сбалансированному многозначному слову предшествует разрешающий контекст, длительность рассматривания (*gaze durations*) такого слова примерно совпадает с длительностью рассматривания однозначного контрольного слова.

Это может объясняться тем, хотя *оба*²⁶ значения многозначного слова (как поддержанное контекстом, так и не-поддержанное) одинаково хорошо представлены в лексиконе и, следовательно, одинаково доступны – значение, поддержанное контекстом, активируется *быстрее*, так как контекст влияет на порядок, в котором активируются альтернативные значения слова; в данном случае разрешающий контекст даёт преимущество одному из значений. Таким образом, хотя многозначное слово в указанных условиях продолжает иметь два значения, конфликта между значениями здесь нет.

1.b. Когда несбалансированному многозначному слову не предшествует разрешающий контекст, длительность его рассматривания также примерно равна длительности рассматривания контрольного слова.

Здесь возможно следующее объяснение: разница между временем обработки несбалансированного многозначного слова и контрольного не возникает потому, что доступ к *доминантному* значению многозначного слова осуществляется так же быстро, как и к единственному значению слова; конфликта между значениями несбалансированного слова здесь опять же нет.

Если же последующий контекст иллюстрирует подчинённое значение слова, указывая тем самым, что был получен доступ к «неверному» значению, неизбежно тратится дополнительное время на исправление этой ошибки, и длительность рассматривания возрастает.

2.a. Когда несбалансированному многозначному слову предшествует контекст, иллюстрирующий *подчинённое* значение слова, длительность рассматривания такого слова *больше* длительности рассматривания контрольного слова, кроме того, наблюдаются регрессии к многозначному слову (см. также Duffy et al., 1988; Kambe et al., 2001; Binder, Rayner, 1998; Rayner et al., 1994).

Разрешающий контекст даёт здесь преимущество подчинённому значению слова, которое встречается реже доминантного значения и, следовательно, хуже представлено в лексиконе, поэтому для извлечения его из памяти требуется больше времени.

Факт увеличения длительности рассматривания несбалансированного многозначного слова в случае, когда предшествующий контекст указывает на подчинённое значение слова, называют *subordinate bias effect* (Pacht & Rayner, 1993; Rayner et al., 1994; см. также Binder & Rayner, 1998; Duffy et al., 1988; Rayner et al., 2006). Этот эффект

²⁶ Обычно для экспериментов подбирают слова, имеющие *два* значения.

имеет важное теоретическое значение, так как предполагает, что сильная контекстуальная информация **не** отменяет процессы автоматического доступа – несмотря на то, что контекст согласуется с подчинённым значением слова, читающие смотрят на многозначное слово дольше, чем на контрольное. При этом, однако, имеются некоторые разногласия относительно природы данного эффекта (см. Binder & Rayner, 1998; Martin, Vu, Kellas, & Metcalfe, 1999; Rayner, Binder, & Duffy, 1999; Vu & Kellas, 1999), а также относительно степени, в которой сильный предшествующий контекст может его отменить (см. Wiley & Rayner, 2000).

2.b. Длительность рассматривания многозначного слова *больше* длительности рассматривания контрольного слова также в случае, если *сбалансированному* слову **не** предшествует разрешающий контекст.

В данном случае оба значения многозначного слова встречаются одинаково часто и, следовательно, одинаково хорошо представлены в памяти, поэтому контекст не может дать преимуществ ни одному из них и они так или иначе мешают друг другу; конфликт двух конкурирующих значений и увеличивает длительность рассматривания.

Таким образом, одинаковую длительность рассматривания многозначного и контрольного слова в условиях 1.a и 1.b можно связать с отсутствием «конфликта» между отдельными значениями многозначного слова, а увеличенную длительность рассматривания многозначного слова в условиях 2.a и 2.b – с наличием такого «конфликта», возникающего из-за того, что два значения слова так или иначе «конкурируют» и мешают друг другу. Такое объяснение согласуется с данными, указывающими на то, что каждое значение многозначного слова имеет собственную репрезентацию в ментальном лексиконе (см., напр., Klein & Murphy, 2001).

12. Теории снятия лексической неоднозначности

Теории снятия лексической неоднозначности различаются по роли, которая отводится в них высокоуровневой лингвистической обработке, а именно влиянию контекста на обработку неоднозначных слов. В этом смысле всё разнообразие таких теорий можно представить в виде *континуума*, на противоположных полюсах которого находятся модели *независимого* (*autonomous access models*) и *избирательного* (*selective access models*): первые утверждают, что **все** значения многозначного слова, независимо от контекста, полностью и автоматически становятся доступны со скоростью, пропорциональной их частотностям; вторые – что контекст играет в лексическом доступе выраженную роль, и доступны становятся только подходящие по контексту значения

многозначных слов – также со скоростью, пропорциональной их частотностям (Reichle et al., 2006).

К моделям избирательного доступа относится, в частности, *модель прямого доступа* (*direct access view*) (напр., Vu et. al, 2000; Vu, Kellas, & Paul, 1998), которая описывает единый взаимодействующий механизм, чувствительный к лингвистической и не-лингвистической информации. Предполагается, что контекстуальная информация взаимодействует с лексической на *ранних* стадиях обработки, что приводит к *выборочному* доступу к подходящим по контексту значениям. Если контекст абсолютно точно определяет одно из значений многозначного слова, то это значение (и только оно) сразу становится доступно, а неподходящие по контексту значения подавляются и не достигают необходимого уровня активации. При этом, если *несбалансированное* слово встречается в нейтральном контексте, то его доминантное значение становится доступно на основании его частотности.

Согласно *модулярной теории* (*modular view*) (напр, Fodor, 1983), основанной на постулате о модульности лексического доступа и относящейся к модели независимого доступа, активируются *все* значения текущего слова, независимо от контекста и приоритетности значений (напр., Connine, Blasko, & Wang, 1994; Onifer & Swinney, 1981; Swinney, 1979; Till, Mross, & Kintsch, 1988). Неподходящие по контексту значения отвергаются лишь после активации всех значений слова. Разрешающий контекст отвечает здесь за активацию реинтерпретирующего механизма в случае нелогичности высказывания (Peleg, Giora & Fein, 2001).

Между полюсами указанного континуума находятся: *модель перестраиваемого доступа* (*reordered access model*) (Duffy et al., 1988; Duffy et. al, 2001; Dopkins, Morris, & Rayner, 1988, 1992; Kambe, Rayner, & Duffy, 2001; Sheridan, Reingold, & Daneman, 2009) и *интеграционная модель* (*integration model*) (Rayner & Frazier, 1989). Эти модели являются модификациями модели прямого доступа и модулярной теории, соответственно, – дополнительно они учитывают фактор приоритетности значений. В обеих этих моделях альтернативные значения многозначного слова становятся доступны в порядке убывания их частотностей.

В модели перестраиваемого доступа разрешающий контекст и частотность отдельных значений многозначного слова могут влиять на скорость и порядок лексического доступа; например, контекст может изменить порядок, в котором становятся доступны значения многозначного слова (подходящие по контексту значения получают более высокий уровень активации).

Интеграционная модель предполагает полный доступ к значениям многозначного слова. Согласно этой модели, относительные частотности значений слова сами по себе влияют на скорость лексического доступа, в частности, доминантное значение несбалансированного многозначного слова в *любом* контексте становится доступно первым. Контекстуальная информация взаимодействует с результатом лексической обработки, но не управляет ей.

Можно видеть, что основными факторами, влияющими на снятие неоднозначности, являются *контекст* и *приоритетность* значений. Эти факторы так или иначе учитываются большинством моделей. При этом в общем виде они справедливы как для многозначных слов, так и для омонимов.

Но здесь могут наблюдаться и некоторые отличия, непосредственно вытекающие из определения омонимии и полисемии: значения омонимичных слов исключают друг друга и не связаны семантически, в то время как значения многозначного слова обычно семантически связаны друг с другом и могут частично совпадать. Это может объяснять результаты экспериментов, показывающих, что процессы, участвующие в снятии неоднозначности, в случае омонимов начинаются *сразу* (напр., Frazier & Rayner, 1990), а в случае многозначных слов – с возможной *задержкой* (напр., Pickering & Frisson, 2001): не связанные друг с другом значения омонимов приходится разграничивать быстрее, нежели пересекающиеся значения многозначных слов (последние намного легче удерживать в памяти одновременно).

Правда, указанное различие признаётся не всеми, и если одни исследователи утверждают, что омонимичные и многозначные слова *по-разному* представлены в лексиконе и по-разному обрабатываются в одинаковых условиях (напр., Frazier & Rayner, 1990; Klepousniotou, 2002; Klepousniotou & Baum, 2007; Pickering & Frisson, 2001; Williams, 1992), то другие не находят никакой разницы в обработке многозначных и полисемичных слов (напр., Klein & Murphy, 2001).

Завершая рассмотрение теорий снятия неоднозначности, отметим следующее: **все** теории снятия лексической неоднозначности, – основанные как на моделях независимого доступа, так и на моделях избирательного доступа, – всегда имеют в виду, что читающий *делает выбор*, прежде чем покинуть неоднозначное слово. Неоднозначное слово не может иметь два значения одновременно в обычной, не игровой, ситуации (ср. пример ниже).

Вопрос о том, что происходит со значением, которое не было выбрано, является предметом дискуссий (напр., Reichle et al., 2006; Morris & Binder, 2001; Binder & Morris, 1995; Montana, 2009): остаётся ли оно активным, если было активировано изначально, или подавляется (становясь менее доступным)? Если значение подавляется, то происходит ли

это на уровне доступа к значению или на уровне интеграции значения в общий смысл предложения? Если выбор оказался ошибочным – как работает процесс повторного анализа?

В ситуации игры неоднозначное слово может иметь два значения одновременно.



'Why is a raven like a writing desk?'
'Because it can produce a few notes'²⁷, though
they are very flat; and it is nevar [sic] put with the wrong
end in front!'

Carroll, Lewis. Alice's Adventures in Wonderland. A Mad Tea-Party (переиздание 1896 г.). Иллюстрация Джона Тенниела.

13. Заключение

Изучение движений глаз во время чтения помогло достичь особых успехов в понимании того, каким образом обрабатывается читаемая информация, как процессы чтения связаны с когнитивной и зрительно-моторной системами человека.

Модели чтения, благодаря их разнообразию и стремлению авторов учитывать как можно больше известных фактов, стимулировали огромное количество исследований и плодотворных дискуссий. Принципы, иллюстрируемые этими моделями, могут быть распространены и на другие области (например, на восприятие картин или зрительный поиск) и, таким образом, могут быть применены для построения более общих теорий, описывающих связь движений глаз с сознанием.

Несмотря на непрерывное развитие таких моделей и несомненные достижения, дискуссии, связанные с ними, далеки от завершения: нет единого мнения относительно ряда фактов и процессов, а также механизмов, лежащих в основе управления движениями глаз. Растущее с каждым годом число экспериментальных данных пока не позволяет однозначно подтвердить или опровергнуть какую-либо из предложенных моделей, что продолжает стимулировать исследования в данной области. Следует отметить, что подавляющее число экспериментов проведено на материале английского языка, и, возможно, данные, полученные на материале других языков, могли бы прояснить спорные моменты или привести к возникновению ещё более общих и непротиворечивых теорий.

²⁷ Notes означает одновременно и музыкальные ноты, и записи.

Что касается более частных исследований лексической неоднозначности, то споров и теорий здесь сравнительно меньше, но зато и вопросов, ещё ожидающих внимательного изучения, намного больше.

Библиография

- Atkinson, R. C., & Juola, J. F. (1973). Factors influencing speed and accuracy of word recognition. In S. Kornblum (Ed.), *Attention and performance IV* (pp. 583–611). New York: Academic Press.
- Atkinson, R. C., & Juola, J. F. (1974). Search and decision processes in recognition memory. In D. H. Krantz, R. C. Atkinson, R. D. Luce, & P. Suppes (Eds.), *Contemporary developments in mathematical psychology. Learning, memory, and thinking (Vol. 1)*. San Francisco: Freeman.
- Balota, D. A., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1985). The interaction of contextual constraints and parafoveal visual information in reading. *Cognitive Psychology*, 17, 364–390.
- Barlow, H. B. (1978). The efficiency of detecting changes of density in random dot patterns. *Vision Research*, 18, 637–650.
- Barlow, H. B., & Reeves, B. C. (1979). The versatility and absolute efficiency of detecting mirror symmetry in random dot displays. *Vision Research*, 19, 783–793.
- Becker, W., & Jürgens, R. (1979). An analysis of the saccadic system by means of double step stimuli. *Vision Research*, 19, 967–983.
- Binder, K. S., & Morris, R. K. (1995). Eye movements and lexical ambiguity resolution: Effects of prior encounter and discourse topic. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 21, 1-11.
- Binder, S., K., & Rayner, K. (1998). Contextual strength does not modulate the subordinate bias effect: Evidence from eye fixations and selfpaced reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5, 271-276.
- Buswell, G. T. (1935). *How People Look at Pictures*. Chicago: Univ. Chicago Press.
- Buswell, G. T. (1937). *How adults read*. Chicago: Univ. Chicago Press.
- Carpenter, R. H. (1981). Oculomotor procrastination. In R. A. D. F. Fisher (Ed.), *Eye movements: Cognition and visual perception* (pp. 237–246). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carpenter, R. H. (2000). The neural control of looking. *Current Biology*, 10, 291–293.
- Carpenter, R. H. (n.d.). *LATER*. Retrieved from <http://www.cudos.ac.uk/later.html>
- Carpenter, R. H., & Williams, M. L. (1995). Neural computation of log likelihood in the control of saccadic eye movements. *Nature*, 377, 59–62.
- Chung, S. T., Legge, G. E., & Tjan, B. S. (2002). Spatial-frequency characteristics of letter identification in central and peripheral vision. *Vision Research*, 42, 2137–2152.
- Clark, V. P., Fan, S., & Hillard, S. A. (1995). Identification of early visual evoked potential generators by retinotopic and topographic analyses. *Human Brain Mapping*, 2, 170–187.
- Connine, C. M., Blasko, D., & Wang, J. (1994). Vertical similarity in spoken word recognition: Multiple lexical activation, individual differences, and the role of sentence context. *Perception & Psychophysics*, 56, 624–636.

- Deubel, H., O'Regan, J. K., & Radach, R. (2000). Attention, information processing and eye movement control. In R. R. A. Kennedy, *Reading as a perceptual process* (pp. 355–374). Oxford, England: Elsevier.
- Dopkins, S., Morris, R. K., & Rayner, K. (1992). Lexical ambiguity and eye fixations in reading: A test of competing models of lexical ambiguity resolution. *Journal of Memory and Language*, 31, 461–476.
- Drieghe, D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2008). Mislocated fixations can account for parafoveal-onfoveal effects in eye movements during reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 1239–1249.
- Duffy, S. A., Kambe, G., & Rayner, K. (2001). The effect of prior disambiguating context on the comprehension of ambiguous words: Evidence from eye movements. In D. S. Gorfein (Ed.), *On the consequences of meaning selection: Perspectives on resolving lexical ambiguity* (pp. 27–43). Washington, DC: American Psychological Association.
- Duffy, S. A., Morris, R. K., & Rayner, K. (1988). Lexical ambiguity and fixation times in reading. *Journal of Memory and Language*, 27, 429–446.
- Engbert, R., Longtin, A., & Kliegl, R. (2002). A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. *Vision Research*, 42, 621–636.
- Engbert, R., Longtin, A., & Kliegl, R. (2004). Complexity of eye movements in reading. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 14, 493–503.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112, 777–813.
- Erlhagen, W., & Schöner, G. (2002). Dynamic field theory of movements preparation. *Psychological Review*, 109, 545–572.
- Eye movement in language reading. (n.d.). Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Eye_movement_in_language_reading
- Feng, G. (2006). Eye movements as time-series random variables: A stochastic model of eye movement control in reading. *Cognitive Systems Research*, 7, 70–95.
- Findlay, J. M., & Walker, R. (1999). A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 661–721.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Foxe, J. J., & Simpson, G. V. (2002). Flow of activation from V1 to frontal cortex in humans: A framework for defining “early” visual processing. *Experimental Brain Research*, 142, 139–150.
- Frazier, L., & Rayner, K. (1990). Taking on semantic commitments: Processing multiple meanings vs. multiple senses. *Journal of Memory and Language*, 29, 181–200.
- Geisler, W. S. (1989). Sequential ideal-observer analysis of visual discriminations. *Psychological Review*, 96, 267–314.

- Henderson, J. M., & Ferreira, F. (1990). Effects of foveal processing difficulty on the perceptual span in reading: Implications for attention and eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 417–429.
- Holland, D. A. (2001). Peripheral Dynamic Visual Acuity Under Randomized Tracking Task Difficulty, Target Velocities, and Direction of Target Presentation. *PhD dissertation*. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Inhoff, A. W., Pollatsek, A., Posner, M. I., & Rayner, K. (1989). Covert attention and eye movements during reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41A, 63–89.
- Inhoff, A. W., Radach, R., Eiter, B., & Juhasz, B. (2003). Distinct subsystems for the parafoveal processing of spatial and linguistic information during eye fixations in reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 56A, 803–827.
- Inhoff, A. W., Radach, R., Starr, M., & Greenberg, S. (2000). Allocation of visuo-spatial attention and saccade programming during reading. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.), *Reading as a perceptual process* (pp. 221–246). Oxford: Elsevier.
- Inhoff, A., Starr, M., & Schindler, K. (2000). Is the processing of words during eye fixations in reading strictly serial? *Perception & Psychophysics*, 62, 1474–1484.
- Johnson, N. F., & Pugh, K. R. (1994). A cohort model of visual word recognition. *Cognitive Psychology*, 26, 240–346.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329–354.
- Kambe, G., Rayner, K., & Duffy, S. A. (2001). Global context effects on processing lexically ambiguous words. *Memory and Cognition*, 29, 363–372.
- Kennedy, A., & Pynte, J. (2005). Parafoveal-on-foveal effects in normal reading. *Vision Research*, 45, 153–168.
- Kennison, S. M., & Clifton, C. (1995). Determinants of parafoveal preview benefit in high and low working memory capacity readers: Implications for eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 68–81.
- Klein, D. K., & Murphy, G. (2001). The representation of polysemous. *Journal of Memory and Language*, 45, 259–282.
- Klepousniotou, E. (2002). The processing of lexical ambiguity: Homonymy and polysemy in the mental lexicon. *Brain and Language*, 81, 205–233.
- Klepousniotou, E., & Baum, S. R. (2007). Disambiguating the ambiguity advantage effect in word recognition: An advantage for polysemous but not homonymous words. *Journal of Neurolinguistics*, 20, 1–24.
- Kliegl, R. (2007). Toward a perceptual-span theory of distributed processing in reading: A Reply to Rayner, Pollatsek, Drieghe, Slattery, and Reichle (2007). *Journal of Experimental Psychology: General*, 136, 530–537.

- Kliegl, R., Nuthmann, A., & Engbert, R. (2006). Tracking the mind during reading: The influence of past, present, and future words on fixation durations. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135, 12-35.
- Lavidor, M., & Walsh, V. (2004). The nature of foveal representation. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 729-735.
- Lee, H.-W., Legge, G. E., & Ortiz, A. (2003). Is word recognition different in central and peripheral vision? *Vision Research*, 43, 2837-2846.
- Leff, A. P., Scott, S. K., Rothwell, J. C., & Wise, R. J. (2001). The planning and guiding of reading saccades: A repetitive transcranial magnetic stimulation study. *Cerebral Cortex*, 11, 918-923.
- Legge, G. E., Hooven, T. A., Klitz, T. S., Mansfield, J. S., & Tjan, B. S. (2002). Mr. Chips 2002: new insights from an ideal-observer model of reading. *Vision Research*, 42, 2219-2234.
- Legge, G. E., Klitz, T. S., & Tjan, B. S. (1997). Mr. Chips: an ideal-observer model of reading. *Psychological Review*, 104, 524-553.
- Liu, Z., Knill, D. C., & Kersten, D. (1995). Object classification for human and ideal observers. *Vision Research*, 35, 549-568.
- Liversedge, S. P., Rayner, K., White, S. J., Vergilino-Perez, D., Findlay, J. M., & Kentridge, R. W. (2004). Eye movements when reading disappearing text: is there a gap effect in reading? *Vision Research*, 44, 1013-1024.
- Martin, C., Vu, H., Kellas, G., & Metcalfe, K. (1999). Strength of discourse context as a determinant of the subordinate bias effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52A, 813-840.
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17, 578-586.
- McConkie, G. W., Kerr, P. W., & Dyre, B. P. (1994). What are "normal" eye movements during reading: Toward a mathematical description. In J. Ygge, & G. Lennerstrand (Eds.), *Eye movements in reading* (pp. 315-328). Oxford: Pergamon Press.
- McConkie, G. W., Kerr, P. W., Reddix, M. D., & Zola, D. (1988). Eye movement control during reading: I. The location of initial eye fixations on words. *Vision Research*, 28, 1107-1118.
- McConkie, G. W., Zola, D., Kerr, P. W., Bryant, N. R., & Wolff, P. M. (1991). Children's eye movements during reading. In J. F. Stein (Ed.), *Vision and visual dyslexia* (Vol. 13). London: MacMillan.
- McDonald, S. A., Carpenter, R. H., & Shillcock, R. C. (2005). An anatomically-constrained, stochastic model of eye movement control in reading. *Psychological Review*, 112, 814-840.
- McPeck, R. M., Skavenski, A. A., & Nakayama, K. (2000). Concurrent processing of saccades in visual search. *Vision Research*, 40, 2499-2516.
- Mielliet, S., & Sparrow, L. (2004). Phonological codes are assembled before word fixation: Evidence from boundary paradigm in sentence reading. *Brain & Language*, 90, 299-310.

- Mielliet, S., O'Donnell, P. J., & Sereno, S. C. (2009). Parafoveal Magnification: Visual Acuity Does Not Modulate the Perceptual Span in Reading. *Psychological Science*, 20, 721–728.
- Mitchell, D. C., Shen, X., Green, M. J., & Hodgson, T. L. (2008). Accounting for regressive eye-movements in models of sentence processing: A reappraisal of the Selective Reanalysis hypothesis. *Journal of Memory and Language*, 59, 266-293.
- Molker, A., & Fisher, B. (1999). The recognition and correction of involuntary prosaccades in an antisaccade task. *Experimental Brain Research*, 125, 511–516.
- Montana, G. (2009). Disambiguating Biased Ambiguous Words: An Eye Movement Investigation. *Master thesis*. University of South Carolina.
- Morris, R. K., & Binder, K. S. (2001). What happens to the unselected meaning of an ambiguous word in skilled reading? In D. S. Gorfein (Ed.), *On the consequences of meaning selection: Perspectives on resolving lexical ambiguity* (pp. 139-153). Washington DC: American Psychological Association.
- Morrison, R. E. (1984). Manipulation of stimulus onset delay in reading: Evidence for parallel programming of saccades. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 667-682.
- Onifer, W., & Swinney, D. A. (1981). Accessing lexical ambiguities during sentence comprehension: Effects of frequency of meaning and contextual bias. *Memory & Cognition*, 9, 225–236.
- O'Regan, J. K. (1990). Eye movements and reading. In *Eye movements and their role in visual and cognitive processes* (pp. 395-453). Amsterdam: Elsevier.
- O'Regan, J. K. (1992). Optimal viewing position in words and the strategy-tactics theory of eye movements in reading. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading* (pp. 333–354). Springer.
- O'Regan, J. K., & Lévy-Schoen, A. (1987). Eye movement strategy and tactics in word recognition and reading. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance XII: The psychology of reading* (pp. 363–383). Erlbaum.
- Pacht, J. M., & Rayner, K. (1993). The processing of homophonic homographs during reading: Evidence from eye movement studies. *Journal of Psycholinguistic Research*, 22, 251–271.
- Parish, D. H., & Sperling, G. (1991). Object spatial frequencies, retinal spatial frequencies, noise, and the efficiency of letter discrimination. *Vision Research*, 31, 1399–1415.
- Peleg, O., Giora, R., & Fein, O. (2001). Salience and context effects: Two are better than one. *Metaphor and Symbol*, 16, 173-192.
- Pelli, D. G., Burns, C. W., Farell, B., & Moore-Page, D. C. (2006). Feature detection and letter identification. *Vision Research*, 46, 4646–4674.
- Pickering, M. J., & Frisson, S. (2001). Processing ambiguous verbs: Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27, 556–573.
- Pollatsek, A., & Digman, L. (1977). Dependent spatial channels in visual processing. *Cognitive Psychology*, 9, 326-352.

- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006). Tests of the E-Z Reader model: Exploring the interface between cognition and eye-movement control. *Cognitive Psychology*, 52, 1-52.
- Radach, R., & Heller, D. (2000). Relations between spatial and temporal aspects of eye movement control. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.), *Reading as a perceptual process* (pp. 165–191). Oxford, England: Elsevier.
- Rayner, K. (1979). Eye guidance in reading: Fixation locations within words. *Perception*, 8, 21–30.
- Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 41, 211–236.
- Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Rayner, K., & Bertera, J. H. (1979). Reading without a fovea. *Science*, 206, 468-469.
- Rayner, K., & Duffy, S. A. (1986). Lexical complexity and fixation times in reading: Effects of word frequency, verb complexity, and lexical ambiguity. *Memory & Cognition*, 14, 191–201.
- Rayner, K., & Frazier, L. (1989). Selection mechanisms in reading lexically ambiguous words. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 779–790.
- Rayner, K., & Juhasz, B. J. (2004). Eye movements in reading: Old questions and new directions. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 340-352.
- Rayner, K., & McConkie, G. W. (1976). What guides a reader's eye movements. *Vision Research*, 16, 829–837.
- Rayner, K., & Morrison, R. M. (1981). Eye movements and identifying words in parafoveal vision. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 17, 135–138.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Rayner, K., Ashby, J., Pollatsek, A., & Reichle, E. D. (2004). The effects of frequency and predictability on eye fixations in reading: Implications for the E-Z Reader model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 720–732.
- Rayner, K., Binder, K. S., & Duffy, S. A. (1999). Contextual strength and the subordinate bias effect: Comment on Martin, Vu, Kellas, and Metcalfe. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52A, 841-852.
- Rayner, K., Cook, A. E., Juhasz, B. J., & Frazier, L. (2006). Immediate disambiguation of lexically ambiguous words during reading: Evidence from eye movements. *British Journal of Psychology*, 97, 467-482.
- Rayner, K., Liversedge, S., White, S., & Vergilino-Perez, D. (2003). Reading disappearing text: Cognitive control of eye movements. *Psychological Science*, 14, 385-388.
- Rayner, K., McConkie, G. W., & Zola, D. (1980). Integrating information across eye movements. *Cognitive Psychology*, 12, 206-226.

- Rayner, K., Pacht, J. M., & Duffy, S. A. (1994). Effects of prior encounter and global discourse bias on the processing of lexically ambiguous words: Evidence from eye movements. *Journal of Memory and Language*, 33, 527–544.
- Rayner, K., Pollatsek, A., & Reichle, E. D. (2003). Eye movements in reading: Models and data. *Brain and Behavioral Sciences*, 26, 507–526.
- Rayner, K., Pollatsek, A., Drieghe, D., Slattery, T. J., & Reichle, E. D. (2007). Tracking the mind during reading via eye movements: Comments on Kliegl, Nuthmann, and Engbert (2006). *Journal of Experimental Psychology: General*, 136, 520–529.
- Rayner, K., Sereno, S. C., & Raney, G. E. (1996). Eye movement control in reading: A comparison of two types of models. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 1188–1200.
- Rayner, K., Slowiaczek, M. L., Clifton, C., & Bertera, J. H. (1983). Latency of sequential eye movements: Implications for reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 912–922.
- Rayner, K., Warren, T., Juhasz, B. J., & Liversedge, S. P. (2004). The effect of plausibility on eye movements in reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30, 1290–1301.
- Rayner, K., White, S. J., Kambe, G., Miller, B., & Liversedge, S. P. (2003). On the processing of meaning from parafoveal vision during eye fixations in. In J. Hyona, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movements* (pp. 213–234). Oxford: Elsevier.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2006). E–Z Reader: A cognitive-control, serial-attention model of eye-movement behavior during reading. *Cognitive Systems Research*, 7, 4–22.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2006). Modeling the effects of lexical ambiguity on eye movements during reading. B R. P. Van Gompel, M. F. Fischer, W. S. Murray, & R. L. Hill (Ред.), *Eye movements: A window on mind and brain* (стр. 271–292). Oxford, England: Elsevier.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L., & Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review*, 105, 125–157.
- Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (1999). Eye movement control in reading: Accounting for initial fixation locations and refixations within the E–Z reader model. *Vision Research*, 39, 4403–4411.
- Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The E-Z Reader model of eye movement control in reading: comparisons to other models. *Behavioral and Brain Sciences*, 26, 445 – 526.
- Reichle, E. D., Warren, T., & McConnell, K. (2009). Using E-Z Reader to model the effects of higher level language processing on eye movements during reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16 (1), 1–21.
- Reilly, R. G., & O'Regan, J. K. (1998). Eye movement control during reading: A simulation of some word-targeting strategies. *Vision Research*, 38, 303–317.

- Reilly, R. G., & Radach, R. (2003). Foundations of an interactive activation model of eye movement control in reading. In J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movements* (pp. 429–455). Amsterdam: Elsevier.
- Reilly, R., & Radach, R. (2006). Some empirical tests of an interactive activation model of eye movement control in reading. *Cognitive Systems Research*, 7, 34–55.
- Richter, E. M., Engbert, R., & Kliegl, R. (2006). Current advances in SWIFT. *Cognitive Systems Research*, 7, 23–33.
- Rizzolatti, G. (1983). Mechanisms of selective attention in mammals. In J. P. Ewert, R. Capranica, & D. J. Ingle (Eds.), *Advances in vertebrate neuroethology* (pp. 261–297). New York: Plenum Press.
- Salvucci, D. D. (2001). An integrated model of eye movements and visual encoding. *Cognitive Systems Research*, 1, 201–220.
- Schall, J. D. (2002). The neural selection and control of saccades by the frontal eye field. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 357, 1073–1082.
- Schroyens, W., Vitu, F., Brysbaert, M., & d'Ydewalle, G. (1999). Eye movement control during reading: Foveal load and parafoveal processing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 52A, 1021–1046.
- Sereno, S. C., O'Donnell, P. J., & Rayner, K. (2006). Eye movements and lexical ambiguity resolution: Investigating the subordinate bias effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 335–350.
- Sereno, S. C., Pacht, J. M., & Rayner, K. (1992). The effect of meaning frequency on processing lexically ambiguous words: Evidence from eye fixations. *Psychological Science*, 3, 296–300.
- Sheridan, H., Reingold, E. M., & Daneman, M. (2009). Using puns to study contextual influences on lexical ambiguity resolution: Evidence from eye movements. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16 (5), 875–881.
- Shillcock, R., Ellison, M. T., & Monaghan, P. (2000). Eye-fixation behavior, lexical storage, and visual word recognition in a split processing model. *Psychological Review*, 107, 824–851.
- Stevens, M., & Grainger, J. (2003). Letter visibility and the viewing position effect in visual word recognition. *Perception & Psychophysics*, 65, 133–151.
- Suppes, P. (1990). Uses of artificial intelligence in computer-based instruction. In V. Marik, O. Stepankova, & Z. Zdrahal (Eds.), *Artificial Intelligence in Higher Education* (pp. 206–224). New York: Springer-Verlag.
- Suppes, P. (1994). Stochastic models of reading. In J. Ygge, & G. Lennerstrand (Eds.), *Eye movements in reading*. Oxford: Pergamon Press.
- Swinney, D. A. (1979). Lexical access during sentence comprehension: (Re)consideration of context effects. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, 645–659.
- Till, R. E., Mross, E. F., & Kintsch, W. (1988). Time course of priming for associate and inference words in a discourse context. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 16, 283–298.

- Tinker, M. A. (1946). The study of eye movements in reading. *Psychological Bulletin*, 43, 93–120.
- Tinker, M. A. (1958). Recent studies of eye movements in reading. *Psychological Bulletin*, 55(4), 215–231.
- Tjan, B. S., Braje, W. L., Legge, G. E., & Kersten, D. (1995). Human efficiency for recognizing 3-D objects in luminance noise. *Vision Research*, 35, 3053–3069.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97–136.
- Treisman, A., & Souther, J. (1986). Illusory words: The roles of attention and of top-down constraints in conjoining letters to form words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 3–17.
- Uttal, W. R., & Smith, E. (1968). Recognition of alphabetic characters during voluntary eye movements. *Perception & Psychophysics*, 3, 257–264.
- Van Rullen, R., & Thorpe, S. (2001). The time course of visual processing: From early perception to decision-making. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 454–461.
- Vergilino, D., & Beauvillain, C. (2000). The planning of refixation saccades in reading. *Vision Research*, 40, 3527–3538.
- Vu, H., & Kellas, G. (1999). Contextual strength modulates the subordinate bias effect: Reply to Rayner, Binder, and Duffy. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52A, 853–856.
- Vu, H., Kellas, G., Metcalfe, K., & Herman, R. (2000). The influence of global discourse on lexical ambiguity resolution. *Memory & Cognition*, 28, 236–252.
- Wheeler, M. E., & Treisman, A. M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, 48–64.
- White, S. J. (2005). Eye movements and the modulation of parafoveal processing by foveal processing difficulty: A re-examination. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 891–896.
- Wiley, J., & Rayner, K. (2000). Effects of titles on the processing of text and lexically ambiguous words: Evidence from eye movements. *Memory and Cognition*, 28, 1011–1021.
- Williams, J. N. (1992). Processing polysemous words in context: Evidence for interrelated meanings. *Journal of Psycholinguistic Research*, 21, 193–218.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 202–238.
- Wolfe, J. M., & Bennett, S. C. (1996). Preattentive object files: Shapeless bundles of basic features. *Vision Research*, 37, 25–43.
- Wurtz, R. H. (1996). Vision for the control of movements. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 37, 2131–2145.
- Yang, S. (2006). A oculomotor-based model of eye movements in reading: The competition/activation model. *Cognitive Systems Research*, 7, 56–69.

- Yang, S.-N., & McConkie, G. W. (2001). Eye movements during reading: A theory of saccade initiation times. *Vision Research*, 41, 3567-3585.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye Movements and Vision*. New York.
- Yonelinas, A. P. (2002). The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language*, 46, 441-517.
- Величковский, Б. М. (2006). *Когнитивная наука: Основы психологии познания*. Москва: Смысл, Издательский центр «Академия».
- Фёдорова, О. В. (2008). Методика регистрации движений глаз «Визуальный мир»: шанс для сближения психолингвистических традиций. *Вопросы языкознания*(6), 98-120.