

УДК 159.937

ДИНАМИКА ЗРИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА И САККАДИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ

© 2018 г. В. А. Барабанщikov

ФГБОУ ВО Московский государственный психолого-педагогический университет;
127051, Москва, ул. Сретенка, д. 29, Россия.

Доктор психологических наук, профессор, член-корреспондент РАО,
директор Института экспериментальной психологии.

Поступила 1.06.2017

Аннотация. Рассматривается логика перцептивного процесса, организация и функции его моторных компонентов. В данном контексте обсуждаются представления о механизме регуляции элементарных движений глаз и его влиянии на динамику восприятия. Согласно гипотезе Е.А. Андреевой, Н.Ю. Вергилеса и Б.Ф. Ломова (1975) регуляция саккад выполняется на основе непрерывной зрительной обратной связи. Этому положению не соответствует эффект саккадического подавления – резкое снижение зрительной чувствительности во время скачков глаз при экспозиции наблюдателю простых тестовых стимулов (точечных вспышек света, черно-белых полос, геометрических фигур). Опираясь на современную технологическую базу и схемы эксперимента автор исследует регуляторные возможности восприятия экологически значимых объектов во время саккад. Показано, что вероятность распознавания эмоциональных выражений лица в подобных условиях выше случайной и зависит от модальности эмоции. Эффективность восприятия экспрессий во время саккад по сравнению с исходным уровнем не только не снижается, но и становится более высокой. Полученные данные подтверждают представление о непрерывности зрительного процесса и возможность его непосредственного включения в регуляцию быстрых движений глаз.

Ключевые слова: Б.Ф. Ломов, зрительный процесс, перцептогенез, саккады, механизм регуляции элементарных движений глаз, саккадическое подавление, распознавание экспрессий лица.

DOI: 10.7868/S0205959218010051

Отмечая 90-летие со дня рождения Б.Ф. Ломова, вряд ли можно пройти мимо работ по восприятию пространства – одной из “сквозных” тем его научного творчества.

Говоря о восприятии, Ломов имел в виду чувственное отражение или порождение образа действительности в ходе непосредственного взаимодействия индивида с окружающей средой. Благодаря восприятию человек ориентируется в текущей ситуации, непрерывно контролирует выполняемые действия и сохраняет свою целостность. Чувственное отражение реализуется с позиции субъекта жизнедеятельности – того, кому оно принадлежит, а следовательно, зависит от его потребностей, отношений, опыта. Содержание восприятия всегда оказывается пристрастным и не сводится лишь к отражению действительности.

Развитие перцептивного образа – перцептогенез – осуществляется на коротких интервалах

времени и включает ряд стадий или фаз, начиная с наиболее общего, нерасчлененного отражения объектов, сменяемых все более полным детальным. Качественные изменения содержания отражения не имеют ни четко выраженных пространственно-временных границ, ни однозначно заданной программы реализации перцептивного процесса. На каждой стадии формируются новообразования, которые становятся условиями дальнейшего движения. Причины и следствия развития образа перманентно меняются местами. Выполненные на основе этих представлений исследования позволили сформулировать гипотезу о двухуровневой регуляции движений глаз в процессах зрительного восприятия. Согласно гипотезе элементарные и комплексные формы окуломоторной активности контролируются по-разному. Элементарные формы (саккады, фиксационные дрейфы) подчиняются принципам следящей системы позиционного контроля; их характеристики

определяются оптическими свойствами поверхности объектов и параметрами непрерывной зрительной обратной связи. Комплексные движения (окуломоторные паттерны, маршруты обзора) контролируются программами или наборами предписаний (куда и на что смотреть? в каком порядке? как?), которые задаются требованиями решаемой задачи и тесно связаны с когнитивными схемами, индивидуально-психологическими особенностями, ее отношением к объекту восприятия и т.п. Система регуляции движений глаз в целом представляется сложноорганизованной, многоуровневой, обладающей переменной структурой и большими возможностями переключений. Она включена в динамику зрительного процесса, поддерживая его непрерывность [23; 24; 25].

Предложенная концепция контрастирует с пространственным представлением об универсальности принципа программирования и целесообразности его переноса на элементарные движения глаз. Предполагалось, что до перевода взора с одного объекта на другой складываются диспозиции, полностью задающие параметры саккад (направление, амплитуду, скорость). Сами же саккады имеют “баллистическую природу” и в силу очень высокой скорости (200–600 угл. град/с), начавшись, не подлежат коррекции [2; 3; 4; 15; 30]. Мнение о невозможности непрерывного зрительного контроля подкреплялось фактами падения зрительной чувствительности во время саккад [38; 40; 42]. В итоге складывалось впечатление, что зрительный процесс совершается дискретно: поиск и обработка информации выполняются во время устойчивых фиксаций глаз, саккады же меняют направленность взора и играют роль аттенюатора, разделяющего смежные порции поступающей информации. По существу динамика зрительного процесса “уподоблялась” циклической структуре окуломоторного акта – периодической смене фиксационных дрейфов и саккад. Перцептогенез чувственного образа, как и отнесенность процесса к субъекту жизнедеятельности, выносились за “скобки”.

В более поздних работах, выполненных учениками и последователями Ломова, было показано, что при трансформации величины, знака и направления зрительной обратной связи окуломоторной системы феномены зрительного восприятия относительно независимы от параметров движений глаз, а окуломоторная активность – от характеристик зрительного образа. Например, стабильность зрительного восприятия допускает дисфункции глазодвигательного аппарата, а константность окуломоторного направления

сохраняется вопреки потери стабильности. Взаимосвязь движений глаз и динамики зрительного образа оказывается системной, т.е. многозначной, многоуровневой, сложно-опосредованной, подчиненной логике взаимодействия субъекта восприятия с объектом, а сам перцептивный процесс носит непрерывный характер [3; 5; 9; 15].

На сегодняшний день одним из сильных аргументов в пользу жесткой программируемости саккад и, соответственно, прямой зависимости зрительного процесса от структуры окуломоторного акта, является эффект саккадического подавления – снижение порогов чувствительности в ходе быстрых поворотов глаз [26; 38; 42]. Обнаружено, что величина подавления меняется в зависимости от амплитуды саккады, яркости и контрастности стимула, а также от его локализации в поле зрения. Усложнение (структурированность) тестового стимула приводит к усилению эффекта [26; 29; 35]. При этом видимая локализация стимула часто не совпадает с действительной, а окружающее пространство выглядит сжатым [31; 35]. Отмечено, что падение чувствительности имеет место не только во время саккады, но и непосредственно до и после поворота глаз (эффект парасаккадического подавления) [29; 41].

Описанные закономерности получены при экспозиции наблюдателям сравнительно простых тестовых стимулов (точечных вспышек света, набора геометрических фигур, пространственных решеток и т.п.) в задачах обнаружения и опознания. В продолжение этих исследований целью нашей работы стало изучение сохранения выявленных закономерностей при экспозиции семантически сложных, экологически и/или социально валидных объектов. Нами совместно с И.Ю. Жердевым было проведено экспериментальное исследование, в котором испытуемым во время саккад демонстрировалось лицо человека, выражающего различные эмоциональные состояния; требовалось распознать тест-объект в ситуации альтернативного выбора. В качестве дополнительной использовалась процедура оценки локализации лица в поле зрения наблюдателя.

МЕТОДИКА

Участники исследования. В эксперименте приняли участие 20 человек (9 женщин) в возрасте 18–20 лет; $Md = 19 \pm 0.64$: студенты московских вузов, не знакомые с целью эксперимента, имеющие нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Эксперименты проводились на аппаратно-программном комплексе, разработанном на основе видеоайтрекера *iView X™ Hi-Speed* (SMI, Германия). Программная часть отвечала за предъявление и удаление стимульного изображения с экспозиционного экрана во время выполнения саккадических движений глаз. Латентность обновления изображения на экране по отношению к саккаде $7 < \Delta t < 14$ (мс). Для точного определения момента смены изображения на экране и синхронизации его с потоком данных использовался фотодиодный датчик, разработанный А.В. Жегалло [10]. Совпадение стимула с саккадой по времени проверялось в ходе постобработки данных на основании сигнала с фотодиодного датчика и латентностей этапов работы комплекса [17; 18].

Регистрация движений глаз выполнялась монокулярно с частотой 1250 Гц. Расчеты величины зрительного угла при обработке данных произведены для воображаемого циклопического глаза. Расстояние до экрана ≈ 57.3 см. Использовался плоский экран с пространственным разрешением ≈ 56 dpi и частотой вертикальной развертки ≈ 144 Гц.

В качестве тест-объекта использовались цветные фотографии мужского лица с выраженными базовыми экспрессиями — страха, гнева, отвращения, радости, печали, удивления, а также спокойного выражения лица, заимствованные из базы ВЕПЭЛ [12; 20] (рис. 1). Угловой размер изображения лица по горизонтали $\approx 3.7^\circ$, по вертикали — 6° .

Согласно инструкции от испытуемого требовалось зафиксировать взгляд на кресте в центре экрана, а при его исчезновении — перевести взор на латерально появляющийся стимул. Тест-объект экспонировался во время быстрых движений глаз наблюдателя. Позиция стимула в поле зрения, модальность экспрессии, альтернативный вариант ответа и расположение вариантов ответа выбирались компьютером случайно в каждой пробе. Место появления вариантов ответов на экране монитора находилось выше основной горизонтали

и не пересекалось с возможными позициями тест-объектов.

В начале каждой пробы в центре экрана появлялся черный фиксационный крест с угловым размером сторон $0.95 \times 0.95^\circ$. После трехсекундного временного интервала компьютер проверял расположение взора в пределах фиксационного креста. До тех пор, пока это условие не выполнялось, латеральный стимул, инициирующий саккадический поворот глаз, не появлялся. В этом качестве также использовался черный крест с угловым размером сторон $0.95 \times 0.95^\circ$. Он появлялся в случайном порядке на расстоянии 10° слева либо справа от центра экрана. В середине саккады крест исчезал, предоставляя место экспозиции тест-объекта (цветного изображения лица с выраженной экспрессией) в одной из трех позиций — в центре экрана (0°), посередине между центром экрана и латеральным крестом ($\pm 5^\circ$) либо на месте латерального креста ($\pm 10^\circ$) (этот случай изображен на рис. 2). Длительность тест-объекта $\approx 7-14$ мс; до завершения саккады его экспозиция прекращалась. В течение ~ 100 мс от момента исчезновения тест-объекта до появления вариантов ответа какое-либо изображение на экране отсутствовало. Оценка модальности экспрессии, демонстрируемой во время саккадических движений глаз, выполнялась путем выбора при помощи компьютерной “мыши” наиболее похожей из двух альтернатив, одна из которых соответствовала тест-объекту. Оценка видимой локализации лица осуществлялась испытуемым с помощью подвижной прямоугольной рамки, высвечиваемой на экране монитора сразу после выбора экспрессии.

После первичного отбора валидных данных математической обработке подверглось 55% проб ($n = 934$). Валидными считались пробы, в которых латентность саккады от момента появления латерального креста находилась в диапазоне 75–350 (мс), что является признаком выполнения испытуемыми инструкции “как можно быстрее перевести взор на новый объект” без

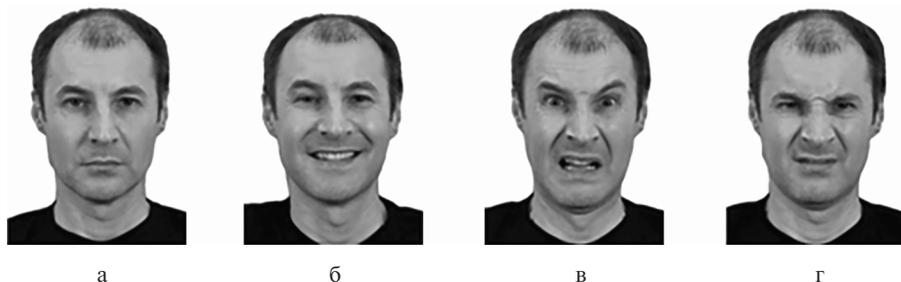


Рис. 1. Примеры фотоизображений экспрессий лица из базы ВЕПЭЛ: а — спокойное (нейтральное), б — радость, в — страх, г — отвращение [12].

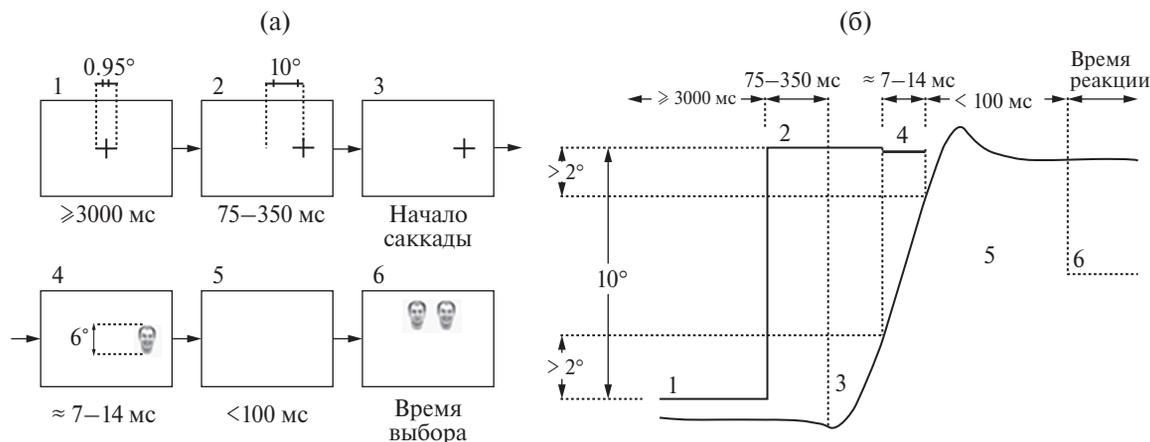


Рис. 2. а) Стимульная ситуация. б) Временная развертка стимульной ситуации на фоне движения глаз. По оси абсцисс – время, по оси ординат – горизонтальная составляющая движений глаз. 1 – фиксационный крест, 2 – латеральный крест, 3 – движение глаза, 4 – тест-объект, 5 – пустой экран, 6 – варианты ответов.

антиципаций [29]. Другим требованием валидности стал момент экспозиции тест-объекта, который должен был произойти только тогда, когда направленность взора находится в пределах $[-2; 8]^\circ$, что исключает его проекцию в фовеальную область сетчатки в точках начала или конца саккады. Для детекции окуломоторных событий (фиксаций, саккад, морганий) использовался алгоритм I-VT (SMI) с параметрами порога минимальной скорости саккады $70^\circ/\text{с}$ и порога минимальной длительности фиксации 40 мс [36].

Обработка данных выполнялась в среде R 3.1. Использованы следующие статистические критерии: 1) для окуломоторных показателей – медиана (Md); стандартное отклонение (SD); 2) для эффективности распознавания экспрессий – χ^2 Пирсона; в скобках указано количество степеней свободы; мощность критерия π ; величина эффекта ϕ ; 3) для воспринимаемой локализации экспрессий и позиции взора в конце саккад – W Вилкоксона для вычисления различий в медианах распределений; U Манна–Уитни для попарного сравнения; медианный сдвиг Δ ; χ^2 Флигнера–Киллена для сравнения однородности дисперсий; все тесты двухсторонние.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценки выражений лица, предъявленного во время целенаправленных саккад. Средняя вероятность верной идентификации экспрессии лица, предъявленного во время саккады, для всех ситуаций эксперимента выше случайной и составляет 0.61 (Пирсона $\chi^2(1) \approx 47.67$; $p \approx 5.05 \times 10^{-12}$; $ci_{95\%} = 0.58-0.64$; $\pi = 0.5$; $\phi \approx 0.23$). Связь частоты адекватного распознавания экспрессии с ее модальностью

статистически значима (Пирсона $\chi^2(6) \approx 49.19$; $p \approx 6.83 \times 10^{-9}$; $\pi \approx 3.95 \times 10^{-4}$; $\phi \approx 0.10$). Наиболее точно распознаются экспрессии радости (0.81), страха (0.71), отвращения (0.62) и удивления (0.61). Частота адекватного распознавания “страха” (0.71) выше, чем спокойствия (0.43), а “радости” – выше, чем всех других экспрессий, кроме “страха” (рис. 3а).

Частота верной идентификации экспрессии зависит от альтернативного варианта ответа (Пирсона $\chi^2(6) \approx 13.80$; $p \approx 0.03$; $\pi \approx 0.14$; $\phi \approx 0.15$) (рис. 3б). “Страх” чаще выбирается в сочетании с “гневом” (0.77) или “печалью” (0.84), но редко в сочетании с “радостью”. Хуже всего идентифицируются “гнев” при сопоставлении с “отвращением” (0.35) и спокойное состояние лица при сопоставлении с “отвращением” и “удивлением” (0.32 в обоих случаях). Статистически значимыми предикторами адекватного выбора базовых эмоций в общем случае выступают спокойное выражение лица (0.70), “печаль” (0.67), и “гнев” (0.66). Маскирующее влияние на выбор тестовой эмоции оказывают экспрессии отвращения (0.54), страха (0.55) и радости (0.59). Между значениями частоты адекватного выбора и влиянием на выбор альтернативной экспрессии существует обратно пропорциональная зависимость.

Обобщенная структура ошибочных ответов при восприятии экспрессий во время саккад представлена на рис. 4. Стрелки обозначают эмоции, которые выбираются в ответ на экспонируемые; толстые стрелки указывают, что обе экспрессии могут смешиваться друг с другом. Совокупность ответов, вызываемых экспозицией определенной эмоции, характеризует категориальное поле соответствующей экспрессии [6; 7]. Для эмоции гнева это

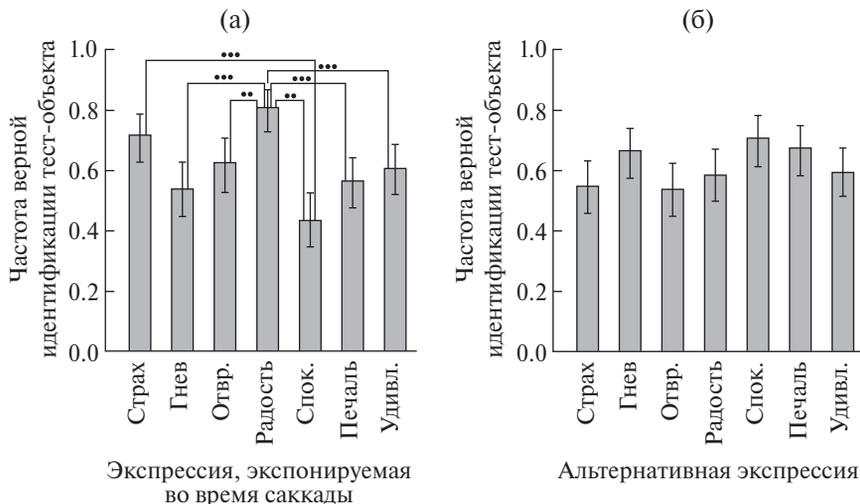


Рис. 3. а) Частота адекватного выбора тест-объекта; б) зависимость частоты адекватного выбора тест-объекта от альтернативного варианта ответа. Вертикальными отрезками обозначен 95%-й доверительный интервал.

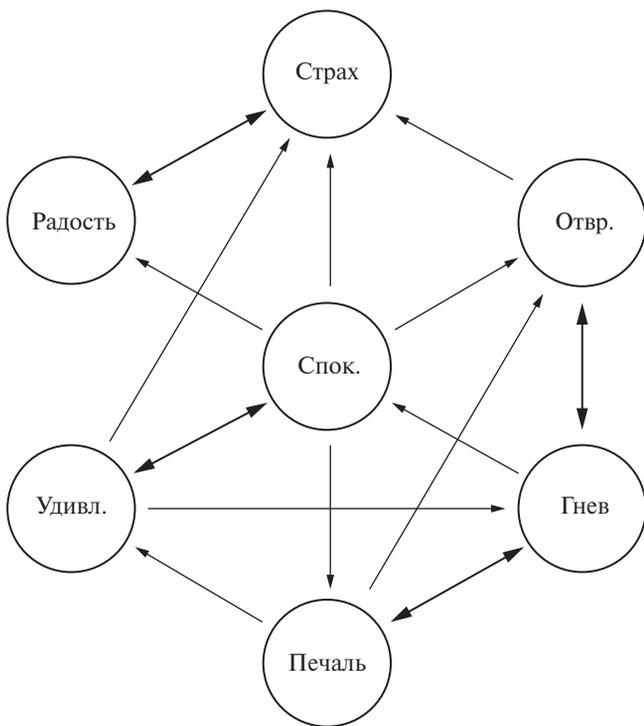


Рис. 4. Структура ошибочного восприятия базовых экспрессий во время саккад.

“отвращение” и “печаль”, для эмоции удивления – “спокойствие”, для “радости” – “страх”. В центре конstellации находится состояние покоя. Обнаружено, что чем меньше возможностей выйти из вершины графа в направлении стрелок, тем точнее распознается экспрессия. Так, из вершины “радость” (частота опознаний – 0.81) только 1 выход – в направлении вершины “страх”, из вершины

“страх” (0.71) – только обратно в “радость”, из вершин “удивление” и “печаль” имеется по 3 выхода (~0.60). Из вершины “спокойствие” существуют почти все возможные выходы, кроме одного: спокойное лицо практически не путается с “гневом”.

Различий в частотах идентификации экспрессии лица при его появлении во время саккады в левой части экрана ($-10^\circ - 0.57$; $-5^\circ - 0.65$), в центре при латеральном кресте слева ($0_l^\circ - 0.58$) или справа ($0_r^\circ - 0.64$) и правой части экрана ($+5^\circ - 0.67$, $+10^\circ - 0.55$) не обнаружено (Пирсона $\chi^2(5) \approx 7.62$; $p \approx 0.18$; $\pi \approx 0.36$; $\varphi \approx 0.05$).

Окуломоторные показатели и воспринимаемая локализация тест-объекта. При выполнении перцептивной задачи зарегистрированы следующие показатели целенаправленных саккад. Латентность саккад $t_{0l} = 93-349$; $Md = 177 \pm 58$ (влево); $t_{0r} = 95-349$; $Md = 186 \pm 57$ (вправо) (мс). У мужчин саккады имеют меньшую латентность ($Md \approx 170 \pm 55$ мс) по сравнению с женщинами ($Md \approx 211 \pm 55$ мс) (Манна–Уитни $U = 59456$; $p \rightarrow 0$; $\Delta \approx -35$; $ci_{95\%} \approx -42 - -28$ (мс); двухсторонний). Длительность саккады $T_l = 24-94$; $Md = 41 \pm 9$ (влево); $T_r = 24-80$; $Md = 42 \pm 7$ (вправо) (мс). Амплитуда саккады $L_l = 3.2-13.8$; $Md = 9.3 \pm 1.5$ (влево); $L_r = 2.3-13.8$; $Md = 9.5 \pm 1.6$ (вправо) ($^\circ$). Максимальная скорость саккады $V_{maxl} = 157.9-602.7$; $Md = 392.0 \pm 63.4$ (влево); $V_{maxr} = 151.5-560.4$; $Md = 395.6 \pm 60.5$ (вправо) ($^\circ/\text{с}$). Средняя скорость саккады $V_l = 87.4-298.1$; $Md = 223.2 \pm 37.4$ (влево); $V_r = 94.6-319.3$; $Md = 225.5 \pm 35.0$ (вправо) ($^\circ/\text{с}$). Пространственно-временные характеристики саккад в левую и правую половины поля зрения статистически неразличимы.

Оценка локализации, или зрительного направления лица во время саккады при всех расположениях тест-объекта в поле зрения отличается от действительной. При расположении лица в позиции -10° : медианное значение видимой локализации $Md \approx -8.9$, $p \approx 1.47 \times 10^{-15}$; при -5° : $Md \approx -7.9$, $p \approx 1.31 \times 10^{-13}$; при 0_l° : $Md \approx -7.1$, $p \rightarrow 0$; при 0_r° : $Md \approx 8.4$, $p \rightarrow 0$; при $+5^\circ$: $Md \approx 8.7$, $p \approx 4.1 \times 10^{-13}$; при $+10^\circ$: $Md \approx 9.0$, $p \approx 5.7 \times 10^{-10}$ (Вилкоксона W). Как следует из рис. 5а, вопреки действительной позиции, лицо видится наблюдателями в сравнительно узкой области полуполей зрения (1.8° слева, 0.6° справа), приближенной к конечной точке фиксации. Внутри этой области сохраняется линейная зависимость видимой и действительной локализаций тест-объекта.

Рис. 5б иллюстрирует спектр полученных оценок локализации тест-объекта в виде гауссовых кривых плотности частотных распределений. Из распределений следует, что при появлении латерального креста справа тест-объект воспринимается практически в одном и том же положении; при его появлении слева имеют место достоверные вариации. Наряду с пиками кривых в области $|8|$ – $|9|^\circ$, возможны локальные повышения частот видимой локализации тест-объекта в позициях 0° , -3° при его экспозиции справа.

Значимых различий между направлениями взора в точках завершения саккад при всех возможных комбинациях не обнаружено.

Нарушения стабильности видимого мира, которые выражаются в редком явлении мультипликации, были зафиксированы у трех испытуемых в совокупности 14 раз ($\approx 1.5\%$ проб). Эффект мультипликации может совпадать, а может не совпадать с направлением саккады. Иногда испытуемые сообщали, что

тест-объект растянут в пространстве, виден нечетко, либо что среди предложенных для выбора двух экспрессий та, которую видел испытуемый, отсутствует.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Главный результат исследования состоит в том, что во время быстрых скачков глаз возможность адекватного восприятия наблюдателем выражений лица виртуального коммуниканта сохраняется. Частота верной идентификации экспрессий на средней скорости саккады около $225^\circ/\text{с}$ равна 0.61. Это значительно выше частоты обнаружения в сходных условиях точечных вспышек света или распознавания геометрических фигур [38; 40] и практически совпадает с оценками регулярных пространственных паттернов, составленных из математических символов [26]. По сравнению с результатами восприятия выражений лица в условиях свободного рассматривания, полученное значение ниже на 15–20%. Согласно литературным данным, средняя частота адекватных оценок базовых экспрессий для 13 социокультурных групп наблюдателей, включающих европейцев, японцев, жителей Северной и Южной Америки, а также представителей дописьменных культур Новой Гвинеи и Бо-рео, равна 0.79 [19; 28]. С введением ограничений (короткие экспозиции, изменение эгоцентрической ориентации лица или его элементов, использование шумовых масок и др.) точность распознавания этих же экспрессий снижается. Например, при трехсекундной экспозиции прямо расположенного лица она равна 0.92, а при его перевороте – 0.67; для слабых или смешанных эмоций значения еще ниже: 0.51 и 0.32 [11]. Хотя длительность одной зрительной фиксации (250–350 мс) нередко

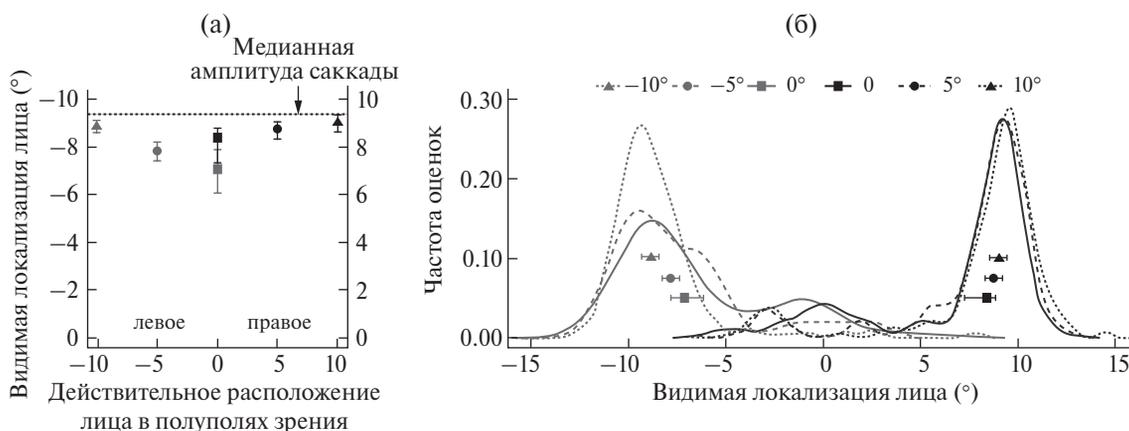


Рис. 5. а) Медианные значения видимой локализации лица во время саккад в зависимости от его расположения в поле зрения. б) Частотные распределения видимой локализации лица. Символами обозначены медианы частотных распределений; отрезками – 95%-е доверительные интервалы.

достаточна для определения модальности эмоции [33], при коротких и сверхкоротких экспозициях ($t \leq 100$ мс) точность распознавания экспрессии падает до 0.15–0.24 [5; 6].

По существу, средняя частота распознавания базовых экспрессий варьирует в широком диапазоне значений и в зависимости от условий исследования может быть как больше, так и меньше значений, полученных во время саккадических поворотов глаз. Это означает, что точность оценок выражений лица во время саккад определяется не столько гипотетическим механизмом “саккадического подавления”, сколько модальностью эмоции. Лучше всего распознаются эмоции радости (0.81) и страха (0.71), сравнительно плохо – “гнев” (0.54) и “печаль” (0.56); хуже всего – спокойное состояние (0.43). Сравнивая эти значения с результатами других оценок базовых экспрессий, нетрудно заключить, что единственной эмоцией, которая в разных ситуациях распознается наиболее точно и однозначно, является “радость” [7; 21]. В кросскультурных исследованиях [19; 27] средняя частота ее идентификации составляет 0.95. Плохо распознается “гнев” (0.67), особенно японцами (0.56), что сближает эти значения с результатами нашего эксперимента. Кросскультурные оценки “страха” (0.74) практически совпадают с его оценками во время перемещений глаз. С сокращением экспозиции лица до 100 мс в силу ослабления конфигурационных связей эффективность распознавания всех базовых экспрессий существенно снижается [6].

Выбор подходящей эмоции, который делает испытуемый, обусловлен как модальностью экспрессии, экспонированной во время саккады, так и модальностью альтернативной экспрессии, с которой сравнивается тест-объект. В зависимости от того, насколько совпадают или похожи мимические паттерны, выбор наблюдателя оказывается более простым или более сложным. На первый план выдвигается *аттрактивность* выражения лица – визуальная броскость, способность экспрессии выделяться среди других, как бы притягивая наблюдателя к себе. Когда та или иная экспрессия выступает в роли тест-объекта, аттрактивность содействует адекватному выбору. Когда же эта экспрессия экспонируется в качестве альтернативы – затрудняет выбор, оттягивая на себя часть ответов. Мы нашли, что наименьшее негативное влияние на распознавание тест-объекта оказывают спокойное выражение лица, “печаль” и “гнев”. Проявления радости, страха и отвращения, напротив, маскируют тестовые экспрессии. Чем лучше распознается базовая эмоция, тем эффективнее она маскирует другие эмоции. Спокойное состояние по своей природе двойственно. С одной стороны, оно лишено мимических признаков эмоций, с другой – содержит

экспрессивные признаки потенциально [7; 13; 14]. Соответственно, в тех случаях, когда спокойное лицо используется в качестве альтернативы тест-объекту, оно играет роль точки отсчета, облегчающей выбор базовых экспрессий. В тех же случаях, когда само становится тест-объектом – обнаруживает сходство с большинством базовых экспрессий, затрудняя адекватный выбор. Особый статус состояния покоя проявляется в структуре ошибочного восприятия базовых экспрессий, где оно занимает центральное место. Отметим, что, как и в других экспериментальных ситуациях, ответы, не совпадающие с тестовой экспрессией, являются ошибками весьма условно. Внешне неадекватные выборы носят закономерный характер и отражают собственную многозначность мимики. Каждое выражение лица воспринимается как сходное с рядом эмоций, т.е. предполагает не одну перцептивную категорию, а их констелляцию, или поле. То, что мы называем “адекватным восприятием” и связываем с точностью распознавания (идентификацией) экспрессии, является лишь ядром категориального поля данного эмоционального состояния. Среди базовых эмоций оно выражено достаточно отчетливо (вероятность выбора находится в диапазоне 0.54–0.81). Согласно структуре ошибочных ответов, категориальные поля базовых экспрессий, экспонируемых во время быстрых движений глаз и в более привычных условиях (при фиксации и/или рассматривании [7; 22]) во многом совпадают. Например, устойчиво смешиваются “радость” и “страх”, “гнев” и “отвращение”, “печаль” и “гнев”. Сохраняется и более общая закономерность: обратно пропорциональная зависимость точности распознавания эмоции от величины категориального поля (в структуре ошибочного восприятия она характеризуется количеством “выходов” из вершин графа).

Одним из ожидаемых результатов нашего эксперимента могла бы стать избирательная точность оценки экспрессий в различных участках поля зрения, зависящая от направленности либо внимания, либо центральной оптической оси глаза. В первом случае наиболее адекватными были бы оценки в позиции стимула, инициирующего саккаду ($\pm 10^\circ$), во втором – в позиции, при которой проекция лица на сетчатке оказывается ближе всего к *fovea centralis* ($\pm 5^\circ$). Однако этого не происходит. Медианные значения частоты правильных ответов, полученных при экспозиции экспрессий в разных участках правого и левого полуполей зрения, статистически неразличимы. Это означает, во-первых, что, как и в обычных условиях (при фиксации глаз), зона эффективного восприятия лица не ограничивается размерами *fovea centralis* ($\pm 1.3^\circ$) и распространяется на ближнюю периферию. Во-вторых, перцептогенез выражений лица может начинаться не только в период устойчивой

фиксации, но и на пике скорости быстрых движений глаз (около $400^\circ/\text{с}$), причем, как в центре, так и на периферии поля зрения. Пространственно-временная динамика перцептивного процесса не разрушается тактовой структурой (фиксация—саккада—фиксация) глазодвигательной активности, а поддерживается ей. В контексте полученных данных идея “саккадического подавления” как некоего механизма, регулирующего восприятие экологически и/или социально валидных объектов, выглядит сомнительной.

Может показаться, что расхождение результатов оценки простых и сложных (экологически/социально значимых) стимулов, обнаруженное в нашем эксперименте, является методическим артефактом: проконтролировать заявленные параметры экспозиции цветного изображения лица на определенном участке саккады визуально невозможно. Тем не менее, критерии достоверности полученных данных существуют и лежат как в технологической [17; 18], так и в психологической плоскости. В последнем случае имеются в виду эффекты трансформации зрительного пространства—времени, регулярно воспроизводимые во время быстрых движений глаз независимо от содержания тестовых объектов. Это — ложные локализации стимулов [35; 39] и их сжатие в направлении выполненной саккады [31; 37]. Оба эффекта отчетливо проявились в условиях нашего эксперимента.

Согласно полученным данным, независимо от того, где во время саккады находится изображение лица, наблюдатели локализуют его в одних и тех же узких участках поля зрения (0.6° в правой части, 1.8° — в левой), прилегающих к будущей точке фиксации. Медианная амплитуда саккад вправо — 9.5° , влево — 9.3° . Внутри каждого из участков объективный порядок расположения тест-объектов относительно ожидаемой цели сохраняется, но субъективное расстояние между ними сокращается в разы. Величина компрессионного эффекта соответствует значениям, описанным в других работах.

Проведенный эксперимент затрагивает проблему стабильности видимого мира (константности зрительного направления) — относительной независимости пространственно-временного статуса воспринимаемого объекта от движений глаз, головы или локомоций наблюдателя [8]. Мы нашли, что нарушения стабильности восприятия изображений лица во время саккад происходят очень редко и вероятно связаны с усталостью либо отвлечением внимания испытуемых. Несмотря на перемещения проекции лица по сетчатке в несколько градусов (эта величина превышает пороговые значения обнаружения движения на два порядка), видимое направление лица

остается одним и тем же, причем и тогда, когда его локализация оказывается ложной. Компрессия воспринимаемого пространства не влияет ни на структуру сложного объекта, ни на его стабильность. В условиях нашего эксперимента стабильность соотносится не только со скачком глаз в целом, но и с отдельными участками траектории движения, независимо от того, где и когда они актуализируются: на подъеме, пике или снижении скорости; в начале, середине или в конце саккады. Так как эти участки обнаруживаются спонтанно, случайным образом, в течение сверхкороткого времени, описание парциальной стабильности восприятия значимого элемента среды в популярных терминах взаимодействия ретинального и экстраретинального сигналов [34] или выделения оптических инвариантов из стимульного потока [16; 32; 42] весьма проблематично.

Совокупность полученных данных говорит о том, что при выполнении саккад зрительный канал остается открытым, способным к приему и обработке экологически значимой информации в любой момент времени. Более того, он чувствителен к величине рассогласования между направленностью глаз и зрительным направлением комплексного объекта, а, значит, может быть использован для организации самого окулomotorного акта. Учитывая системную природу зрительного процесса, нетрудно допустить, что контроль саккадических движений глаз связан с ранними и средними стадиями перцептогенеза выражений лица, а сами целенаправленные саккады обеспечивают развитие чувственного образа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сложные экологически либо социально значимые объекты, являющиеся предметом внимания, во время саккад воспринимаются наблюдателем иначе, чем точечные вспышки света, линии или решетки. Вероятность распознавания выражений лица — одного из наиболее важных стимулов социального поведения — при выполнении быстрых движений глаз выше случайной и зависит от модальности эмоции. Точность опознания, его прерогативы и характер “ошибок” соответствуют оценкам базовых экспрессий лица, выполненных в привычных для наблюдателя условиях. Полученный нами эмпирический материал указывает на непрерывность зрительного процесса и возможность его прямого включения в регуляцию элементарных движений глаз [1; 2]. При эксцентрической экспозиции экологически значимых объектов во время саккад имеет место не снижение, а повышение эффективности распознавания по сравнению с исходным уровнем, которое способно выполнить роль зрительной обратной связи. Тактовая структура

глазодвигательной активности не разрывает, а связывает стадии (фазы) перцептивного процесса. Перцептогенез выражений лица может начинаться и продолжаться не только в период устойчивой фиксации, но и на пике скорости быстрых движений глаз.

Идеи и оригинальные гипотезы, высказанные Б.Ф. Ломовым и его коллегами более 40 лет назад, сохраняют свою актуальность. На фоне современных достижений науки и технологий перцептивный процесс открывается в новом ракурсе, создавая условия более глубокой и тщательной проработки проблем природы зрительного восприятия: его детерминации, организации, развития, свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреева Е.А., Вергилес Н.Ю., Ломов Б.Ф.* К вопросу о функциях движения глаз в процессе зрительного восприятия // Вопросы психологии. № 1. 1972. С. 11–24.
2. *Андреева Е.А., Вергилес Н.Ю., Ломов Б.Ф.* Механизм элементарных движений глаз как следящая система // Моторные компоненты зрения / Под ред. Б.Ф. Ломова, Н.Ю. Вергилеса, А.А. Митькина. М.: Наука. 1975. С. 7–55.
3. *Барабанщиков В.А.* Динамика зрительного восприятия. М.: Наука, 1990.
4. *Барабанщиков В.А.* Окуломоторные структуры восприятия. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 1997.
5. *Барабанщиков В.А.* Восприятие и событие. СПб.: Алетейя, 2002.
6. *Барабанщиков В.А.* Восприятие выражений лица. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2009.
7. *Барабанщиков В.А.* Экспрессии лица и их восприятие. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2012.
8. *Барабанщиков В.А., Белопольский В.И.* Стабильность видимого мира. М.: Когито-Центр, 2008.
9. *Барабанщиков В.А., Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю.* Оптические методы трансформации зрительной обратной связи // Психологический журнал. 1980. Т. 1. № 3. С. 85–94.
10. *Барабанщиков В.А., Жегалло А.В.* Регистрация и анализ направленности взгляда человека. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2013.
11. *Барабанщиков В.А., Жегалло А.В., Иванова Л.А.* Распознавание экспрессий перевернутого изображения лица // Экспериментальная психология. 2010. Т. 3. № 3. С. 66–83.
12. *Барабанщиков В.А., Жегалло А.В., Королькова О.А.* Перцептивная категоризация выражений лица. М.: Когито-Центр, 2016.
13. *Барабанщиков В.А., Хозе Е.Г.* Восприятие экспрессий спокойного лица // Мир психологии. 2013. № 1. С. 203–223.
14. *Барабанщиков В.А., Хозе Е.Г.* Восприятие экспрессий лица, обусловленных его конфигурацией / Отв. ред.: Ананьева К.И., Барабанщиков В.А., Демидов А.А. Лицо человека в науке, искусстве и практике. М.: Когито-Центр, 2015. С. 159–181.
15. *Белопольский В.И.* Взор человека: механизмы, модели, функции. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2007.
16. *Гибсон Дж.* Экологический подход к зрительному восприятию. М.: Прогресс, 1988.
17. *Жердев И.Ю.* Использование платформы Adobe Flash в тахистоскопических исследованиях зрительного восприятия: аппаратно-программный комплекс // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2014. № 6. С. 32–40.
18. *Жердев И.Ю., Барабанщиков В.А.* Аппаратно-программный комплекс для исследований зрительного восприятия сложных изображений во время саккадических движений глаз человека // Экспериментальная психология. 2014. Т. 7. № 1. С. 123–131.
19. *Изард К.* Психология эмоций. СПб.: Питер, 2000.
20. *Куракова О.А.* Создание новой базы фотоизображений естественных переходов между базовыми эмоциональными экспрессиями 3 лица // Лицо человека как средство общения: Междисциплинарный подход / Отв. ред. В.А. Барабанщиков, А.А. Демидов, Д.А. Дивеев. М.: Когито-Центр, 2012. С. 287–309.
21. *Куракова О.А.* Эффекты категориальности восприятия переходных экспрессий лица: Дис. ... канд. психол. наук. М., 2013.
22. *Куракова О.А., Жегалло А.В.* Эффект категориальности восприятия экспрессий лица: многообразие проявлений // Экспериментальная психология. 2012. Т. 5. № 2. С. 22–38.
23. *Ломов Б.Ф.* О структуре процесса опознавания сигнала // Материалы XVIII Международного конгресса по психологии: Обнаружение и опознавание сигнала. М.: Общество психологов СССР, 1966. С. 135–142.
24. *Ломов Б.Ф.* Методологические и теоретические проблемы психологии. М.: Наука, 1984.
25. *Ломов Б.Ф.* Психическая регуляция деятельности. Избранные труды. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2006.
26. *Митрани Л.* Саккадические движения глаз. София: БАН, 1973.
27. *Экман П.* Психология эмоций. СПб.: Питер, 2010.
28. *Экман П., Фризен У.* Узнай лжеца по выражению лица. СПб.: Питер, 2010.
29. *Vompas A., Sumner P.* Temporal dynamics of saccadic distraction // Journal of Vision. 2009. Vol. 9. P. 1–14.

30. *Bruce V., Green P.* Visual perception: physiology, psychology and ecology. L., Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. 1993.
31. *Burr D.C., Ross J., Binda P.* Saccades compress space, time and number // *Trends in Cognitive Science*. 2010. Vol. 14. P. 528–533.
32. *Gibson J.J.* The Senses Considered as Perceptual Systems. Boston: Houghton Mifflin, 1966.
33. *Haggard E.A., Isaacs K.S.* Micromomentary facial expressions: an indicators of ego mechanisms in psychotherapy / L. Gottschalk, A. Anerbach (eds.) *Research in psychotherapy*. N.Y., 1966. P. 154–165.
34. *Hershberger W.* Saccadic eye movements and the perception of visual direction // *Perception & Psychophysics*. 1987. V. 41. P. 35–44.
35. *Honda H.* The time course of visual mislocalization and of extraretinal eye position signals at the time of vertical saccades // *Vision Res*. 1991. V. 31. P. 1915–1921.
36. *Komogortsev O., Gobert D., Jayarathna S., Koh D., Gowda S.* Standartization of Automated Analyses of Oculomotor Fixation and Saccadic Behaviors // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2010. Vol. 57. P. 2635–2645.
37. *Lappe M., Awater H., Krekelberg B.* Postsaccadic visual references generate presaccadic compression of space // *Nature*. 2000. Vol. 403. P. 892–895.
38. *Latour P.L.* Visual threshold during eye movements // *Vision Res*. 1962. V. 2. P. 261–262.
39. *Matin L., Pearce D.G.* Visual perception of direction for stimuli flashed during voluntary saccadic eye movements // *Science*. 1965. V. 148. P. 1485–1488.
40. *Volkman F.* Vision during voluntary saccadic eye movements // *Journ. Opt. Soc. Am.* 1962. V. 52. № 5. P. 571–578.
41. *Volkman F.C., Schick A., Riggs L.A.* Time course of visual inhibition during voluntary saccades // *Journal of the Optical Society of America*. 1968. V. 58. P. 562–569.
42. *Warren W.H., Hannon D.J.* Eye movements and optical flow // *Journal of the Optical Society of America*. 1990. V. 7. P. 160–169.

DYNAMICS OF VISUAL PROCESS AND SACCADIC EYE MOVEMENTS

V.A. Barabanshchikov

*Institute of Experimental Psychology, MCPPU; 127051, Moscow, Sretenka str., 29, Russia.
Sc.D. (psychology), professor, corresponding member of RAE, Director of MCPPU.*

Received 1.06.2017

Abstract. The logic of perceptual process, organization and functions of its motor components are considered. Views on mechanism of regulation of elementary eye movements and its influence on dynamics of perception are discussed in the given context. According to E.A. Andreeva's, N.Yu. Vergiles's and B.F. Lomov's (1975) hypothesis, regulation of saccades is based on continuous visual feedback. The effect of saccadic suppression – sharp reduction in visual sensitivity during eye movements when simple test stimuli (point light flashes, back-white stripes, geometric figures) are presented to an observer does not correspond to this statement. Based on modern technological basis and experiment's design the author studies regulatory capacities of perception of environmentally significant objects during saccades. It has been shown that probability of recognition of emotional expressions under the similar conditions is higher than in accidental ones and depends on emotion's modality. Efficiency of expression's perception during saccades in comparison to initial level has not only decreases but becomes higher. Obtained data confirms ideas about continuity of visual process and possibility of its direct inclusion in regulation of quick eye movements.

Keywords: B.F. Lomov, visual process, perceptogenesis, saccades, mechanism of regulation of elementary eye movements, saccadic suppression, recognition of facial expressions.

REFERENCES

1. *Andreeva E.A., Vergiles N. Ju., Lomov B.F.* K voprosu o funkciyah dvizhenija glaz v processe zritel'nogo vosprijatija // *Voprosy psihologii*. № 1. 1972. P. 11–24. (in Russian)
2. *Andreeva E.A., Vergiles N. Ju., Lomov B.F.* Mehanizm jelementarnyh dvizhenij glaz kak sledjashhaja sistema // *Motornye komponenty zrenija* / Ed. B.F. Lomova, N. Ju. Vergile-sa, A.A. Mit'kina. Moscow: Nauka. 1975. P. 7–55. (in Russian)
3. *Barabanshchikov V.A.* Dinamika zritel'nogo vosprijatija. Moscow: Nauka, 1990. (in Russian)
4. *Barabanshchikov V.A.* Okulomotornye struktury vosprijatija. Moscow: Izd-vo "Institut psihologii RAN", 1997. (in Russian)
5. *Barabanshchikov V.A.* Vosprijatie i sobytie. St. Petersburg: Aletejja, 2002. (in Russian)
6. *Barabanshchikov V.A.* Vosprijatie vyrazhenij lica. Moscow: Izd-vo "Institut psihologii RAN", 2009. (in Russian)
7. *Barabanshchikov V.A.* Jekspressii lica i ih vosprijatie. Moscow: Izd-vo "Institut psihologii RAN", 2012. (in Russian)

8. *Barabanshnikov V. A., Belopol'skij V. I.* Stabil'nost' vidimogo mira. Moscow: Kogito-centr, 2008. (in Russian)
9. *Barabanshnikov V. A., Belopol'skij V. I., Vergiles N. Ju.* Opticheskie metody transformacii zritel'noj obratnoj svyazi // Psihologicheskii zhurnal. 1980. V. 1. № 3. P. 85–94. (in Russian)
10. *Barabanshnikov V. A., Zhegallo A. V.* Registracija i analiz napravlenosti vzora cheloveka. Moscow: Izd-vo "Institut psihologii RAN", 201Z. (in Russian)
11. *Barabanshnikov V. A., Zhegallo A. V., Ivanova L. A.* Raspoznavanie jekspressij perevernutogo izobrazhenija lica // Jeksperimental'naja psihologija. 2010. V. 3. № 3. P. 66–83. (in Russian)
12. *Barabanshnikov V. A., Zhegallo A. V., Korol'kova O. A.* Perceptivnaja kategorizacija vyrazhenij lica. Moscow: Kogito-Centr, 2016. (in Russian)
13. *Barabanshnikov V. A., Hoze E. G.* Vospriyatie jekspressij spokojnogo lica // Mir psihologii. 2013. № 1. P. 203–223. (in Russian)
14. *Barabanshnikov V. A., Hoze E. G.* Vospriyatie jekspressij lica, obuslovlennyh ego konfiguraciej / Ed.: Anan'eva K. I., Barabanshnikov V. A., Demidov A. A. Lico cheloveka v nauke, iskusstve i praktike. Moscow: Kogito-Centr, 2015. P. 159–181. (in Russian)
15. *Belopol'skij V. I.* Vzor cheloveka: mehanizmy, modeli, funkcii. Moscow: Izd-vo "Institut psihologii RAN", 2007. (in Russian)
16. *Gibson Dzh.* Jekologicheskij podhod k zritel'nomu vospriyatiju. Moscow: Progress, 1988. (in Russian)
17. *Zherdev I. Ju.* Ispol'zovanie platformy Adobe Flash v tahistokopicheskij issledovanijah zritel'nogo vospriyatija: apparatno-programmnyj kompleks // Nejrokomp'jutery: razrabotka, primenenie. 2014. № 6. P. 32–40. (in Russian)
18. *Zherdev I. Ju., Barabanshnikov V. A.* Apparatno-programmnyj kompleks dlja issledovanij zritel'nogo vospriyatija slozhnyh izobrazhenij vo vremja sakkadicheskij dvizhenij glaz cheloveka // Jeksperimental'naja psihologija. 2014. V. 7. № 1. P. 123–131. (in Russian)
19. *Izard K.* Psihologija jemocij. St. Petersburg: Piter, 2000. (in Russian)
20. *Kurakova O. A.* Sozdanie novej bazy fotoizobrazhenij estestvennyh perehodov mezhdju bazovymi jemocional'nymi jekspressijami 3 lica // Lico cheloveka kak sredstvo obshhenija: Mezhdisciplinarnyj podhod / Ed. V. A. Barabanshnikov, A. A. Demidov, D. A. Diveev. Moscow: Kogito-Centr, 2012. P. 287–309. (in Russian)
21. *Kurakova O. A.* Jeffekty kategorial'nosti vospriyatija perehodnyh jekspressij lica: Dis. ... kand. psihol. nauk. Moscow: 2013. (in Russian)
22. *Kurakova O. A., Zhegallo A. V.* Jeffekt kategorial'nosti vospriyatija jekspressij lica: mnogoobrazie projavlenij // Jeksperimental'naja psihologija. 2012. V. 5. № 2. P. 22–38. (in Russian)
23. *Lomov B. F.* O strukture processa opoznaniya signala // Materialy XVIII Mezhdunarodnogo kongressa po psihologii: Obnaruzhenie i opoznavanie signala. Moscow: Obshhestvo psihologov SSSR, 1966. P. 135–142. (in Russian)
24. *Lomov B. F.* Metodologicheskie i teoreticheskie problemy psihologii. Moscow: Nauka, 1984. (in Russian)
25. *Lomov B. F.* Psihicheskaja reguljacija dejatel'nosti. Izbrannye trudy. Moscow: Izd-vo "Institut psihologii RAN", 2006. (in Russian)
26. *Mitrani L.* Sakkadicheskie dvizhenija glaz. Sofija: BAN, 1973. (in Russian)
27. *Jekman P.* Psihologija jemocij. St. Petersburg: Piter, 2010. (in Russian)
28. *Jekman P., Frizen U.* Uznaj lzheca po vyrazheniju lica. St. Petersburg: Piter, 2010. (in Russian)
29. *Bompas A., Sumner P.* Temporal dynamics of saccadic distraction // Journal of Vision. 2009. Vol. 9. P. 1–14.
30. *Bruce V., Green P.* Visual perception: physiology, psychology and ecology. L., Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. 1993.
31. *Burr D. C., Ross J., Binda P.* Saccades compress space, time and number // Trends in Cognitive Science. 2010. Vol. 14. P. 528–533.
32. *Gibson J. J.* The Senses Considered as Perceptual Systems. Boston: Houghton Mifflin, 1966.
33. *Haggard E. A., Isaacs K. S.* Micromomentary facial expressions: an indicators of ego mechanisms in psychotherapy / L. Gottschalk, A. Anerbach (eds.) Research in psychotherapy. N.Y., 1966. P. 154–165.
34. *Hershberger W.* Saccadic eye movements and the perception of visual direction // Perception & Psychophysics. 1987. V. 41. P. 35–44.
35. *Honda H.* The time course of visual mislocalization and of extraretinal eye position signals at the time of vertical saccades // Vision Res. 1991. V. 31. P. 1915–1921.
36. *Komogortsev O., Gobert D., Jayarathna S., Koh D., Gowda S.* Standartization of Automated Analyses of Oculomotor Fixation and Saccadic Behaviors // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2010. Vol. 57. P. 2635–2645.
37. *Lappe M., Awater H., Krekelberg B.* Postsaccadic visual references generate presaccadic compression of space // Nature. 2000. Vol. 403. P. 892–895.
38. *Latour P. L.* Visual threshold during eye movements // Vision Res. 1962. V. 2. P. 261–262.
39. *Matin L., Pearce D. G.* Visual perception of direction for stimuli flashed during voluntary saccadic eye movements // Science. 1965. V. 148. P. 1485–1488.
40. *Volkman F.* Vision during voluntary saccadic eye movements // Journ. Opt. Soc. Am. 1962. V. 52. № 5. P. 571–578.
41. *Volkman F. C., Schick A., Riggs L. A.* Time course of visual inhibition during voluntary saccades // Journal of the Optical Society of America. 1968. V. 58. P. 562–569.
42. *Warren W. H., Hannon D. J.* Eye movements and optical flow // Journal of the Optical Society of America. 1990. V. 7. P. 160–169.