

## ВКЛАД Л.Н. МОГИЛЕВА В ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗРЕНИЯ (к 100-летию со дня рождения)

© 2022 г. П. П. Николаев<sup>1,\*</sup>, Г. И. Рожкова<sup>1</sup>, М. А. Грачева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН  
127051 Москва, Большой Каретный переулок, д. 19, стр. 1, Россия

\*E-mail: nikol@iitp.ru

Поступила в редакцию 05.07.2022 г.

После доработки 28.07.2022 г.

Принята к публикации 04.08.2022 г.

В 60-х гг. прошлого века в Иркутском государственном университете Л.Н. Могилевым была развернута многоплановая масштабная работа по исследованию механизмов пространственного зрения, которая соответствовала последним достижениям и тенденциям тогдашней науки о зрении как по методическому уровню, так и по выбору теоретических и экспериментальных задач. К сожалению, эта работа велась в значительной степени обособленно и была слабо представлена на международных конференциях, вследствие чего многие важные результаты указанных исследований и даже монография Л.Н. Могилева “Механизмы пространственного зрения” (1982 г.) остались неизвестными большинству членов научного сообщества, занимающихся разработкой методов изучения и теорий зрительного пространственного восприятия, и не были включены даже в достаточно детальные и полные зарубежные обзорные издания. Возможно, это связано также с тем, что и сам Л.Н. Могилев в своих публикациях уделял недостаточно внимания работам своих иностранных предшественников и коллег, проводивших похожие исследования одновременно с ним. В связи с юбилейной датой – 100-летием со дня рождения Л.Н. Могилева – представляется важным и полезным напомнить о наиболее интересных работах этого замечательного ученого и проанализировать их в контексте аналогичных более ранних и параллельных исследований. В настоящей статье сделана попытка обсудить работы Л.Н. Могилева в области пространственного зрения, выделив направления исследований, наиболее близко пересекающиеся с исследованиями и публикациями зарубежных авторов, получивших широкую известность и признание.

**Ключевые слова:** предшественники Л.Н. Могилева, механизмы пространственного зрения, стереокинетический эффект, автостереограмма, бинариметр

**DOI:** 10.31857/S0235009222040047

### ВВЕДЕНИЕ

В этом году исполнилось 100 лет со дня рождения профессора Льва Николаевича Могилева – крупного ученого, создателя своей научной школы и оригинального научного направления в области физиологии пространственного зрения. Л.Н. Могилев внес заметный вклад в исследования физиологии зрения, предложил новые методы выявления особенностей и оценки взаимоотношений различных механизмов в процессе пространственного восприятия. Наиболее значимые результаты собственной научной деятельности в данной области были подытожены им в единственной монографии “Механизмы пространственного зрения”, опубликованной сорок лет назад (Могилев, 1982). Эта монография написана весьма лаконично, в реферативно-протокольном стиле, и не дает полного представления об отли-

чительных особенностях работ Л.Н. Могилева в ряду аналогичных исследований и об их теоретической и практической ценности. К сожалению, автор монографии ушел из жизни вскоре после публикации книги. В издательстве “Наука” она была издана небольшим тиражом и не переводилась на иностранные языки, вследствие чего главный труд Л.Н. Могилева остался неизвестным многим отечественным и большинству зарубежных специалистов. Это же относится и к научным сообщениям Л.Н. Могилева, которые часто публиковались в местных изданиях и только на русском языке.

В связи с нарастающим интересом к истории развития фундаментальных исследований пространственного зрения и появлением за последнее время основательных обобщающих монографий стало очевидно, что работы Л.Н. Могилева

заслуживают специального обсуждения. К сожалению, даже в почти всеохватывающем обзорном трехтомнике Говарда и Роджерса “Perceiving in depth” (Howard, Rogers, 2012; Howard, 2012a, b), объемом около 1700 страниц и с библиографическим списком, включающим более 10000 источников, не упомянуто ни одной публикации Л.Н. Могилева, что представляется несправедливым.

В данной статье мы остановимся на трех направлениях исследований Л.Н. Могилева: разработке методов изучения функциональной организации системы пространственного зрения, основанных на стерео-кинетическом эффекте (Могилев, 1976) и применимых даже в экспериментах на животных; создании дискретных автостереограмм, переоткрытых Могилевым в начале 60-х гг. XX в., и описании пространственных эффектов, возникающих при их наблюдении в условиях физиологического двоения; изобретении бинариметра — прибора для количественной оценки характеристик пространственного восприятия в условиях физиологического двоения (Могилев, 1978a).

Для лучшего понимания подхода Л.Н. Могилева к изучению пространственного зрения и для адекватной интерпретации терминологии, использованной в его работах, необходимо учитывать специфику его биографии, негативное влияние периода “холодной войны” на обмен научной информацией и практическую невозможность полноценного обсуждения актуальных научных проблем с зарубежными коллегами в условиях его научной деятельности.

Л.Н. Могилев родился 14 ноября 1922 г. в г. Иркутске. В 1939 г. он поступил на биологический факультет Иркутского государственного университета (ИГУ), однако в период с 1941 по 1945 г. в его учебе был перерыв из-за мобилизации в армию и участия в военных действиях. Вернувшись в университет в 1946 г., он закончил его в 1949 г. и был оставлен работать на кафедре зоологии беспозвоночных, являющейся одной из ведущих и самых привлекательных кафедр биологического факультета ИГУ. Популярность этой кафедры связана с возможностью исследовать уникальную фауну озера Байкал, вблизи которого расположен город Иркутск. В 1956 г. Л.Н. Могилев защитил кандидатскую диссертацию на тему “О суточных вертикальных миграциях массовых форм байкальского зоопланктона”. Позднее он был преподавателем и доцентом (с 1961 г.) кафедры физиологии и микробиологии ИГУ, а затем сменил тематику и основал кафедру физиологии человека и животных, которой заведовал с 1969 по 1985 г. Его докторская диссертация, защищенная в 1979 г., суммировала результаты исследований по новой тематике, остававшейся для него главной до самого последнего времени: “Про-

странственные зрительные эффекты, как показатели функциональной организации зрительных центров”.

Основные идеи и положения этой диссертации вошли в монографию “Механизмы пространственного зрения” (Могилев, 1982), которая содержит наиболее полное прижизненное описание достижений автора в данной области и использована нами как главный источник информации для настоящей статьи. К сожалению, язык указанной монографии, как и других публикаций автора, весьма специфичен, точнее сказать — эклектичен. Заинтересовавшись проблемами пространственного зрения уже в зрелом возрасте и работая вне связи с определенной научной школой, автор вперемешку использует и общепринятые, и изобретенные им термины, что затрудняет восприятие материала и формирование целостного представления о предмете обсуждения в строгих рамках одной научной дисциплины. (Некоторые места текста напоминают ситуацию, когда при описании движения планет используются одновременно представления и Птоломея, и Коперника). Чтобы сделать суть работ Л.Н. Могилева более доступной молодым исследователям, мы старались избегать устаревших и “самобытных” терминов, заменяя их более современными и общепринятыми.

В интернете упоминается, что Л.Н. Могилев является автором примерно ста двадцати научных трудов, но мы не имели возможности даже отыскать многие из них и ограничились своим обсуждением его научных достижений только интересующей нас областью пространственного зрения. В то же время нельзя не упомянуть и иные, лишь косвенно связанные с наукой направления деятельности этого разносторонне талантливого человека, который занимался также живописью и литературным творчеством. Это тем более уместно, что и его зарубежные предшественники (например, по исследованию стереокинетического эффекта) также были людьми, талантливыми и в науке, и в искусстве, и более известны не среди специалистов по пространственному зрению.

Л.Н. Могилев был писателем-фантастом, поэтом и художником. Он написал несколько научно-фантастических повестей, публиковавшихся как местными, так и центральными издательствами. Самой известной из них является повесть “Железный человек”, название которой было использовано для книги, включающей несколько его произведений. Будучи тонким и наблюдательным художником, живущим вблизи озера Байкал, Л.Н. Могилев часто вдохновлялся красотами озера и его побережья. Репродукция одной из его живописных картин с изображением Байкала использована для оформления сайта Восточно-Си-

бирского центра медико-биологической информации.

Цель настоящей статьи – дать информацию о работах предшественников и современников Л.Н. Могилева по направлениям его исследований в области пространственного зрения; подчеркнуть вклад Л.Н. Могилева, специфику его взглядов и интересов; кратко обсудить значение полученных им результатов для дальнейшего экспериментального исследования механизмов зрительного пространственного восприятия и практической (оптометрической и клинической) работы.

### ГЛАВНЫЕ ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЙ Л.Н. МОГИЛЕВЫМ МЕХАНИЗМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВОСПРИЯТИЯ ПО МНЕНИЮ САМОГО АВТОРА

Прежде чем перейти к более подробному ретроспективному рассмотрению конкретных исследований Л.Н. Могилева, целесообразно привести его собственную оценку итогов многолетней и многоплановой работы, проводимой им совместно со своими учениками на кафедре физиологии человека и животных ИГУ. Эту оценку можно взять за основу, внося лишь поправки, которые требуют необходимость согласования мнений Могилева с данными других авторов, появившимися позднее.

Характеризуя в автореферате своей докторской диссертации новизну результатов, полученных в ходе проделанной работы, Могилев привел следующий список (Могилев, 1979, с. 4–5), который мы цитируем ниже с краткими комментариями.

1) “На основе исследований на людях и животных сформулировано положение о существовании двух самостоятельных механизмов пространственного восприятия – стереокинетического и бинокулярного, из которых первый является эволюционно более древним, исходным”.

– Четкая формулировка положения о существовании двух самостоятельных механизмов пространственного зрения звучала актуально для того времени, так как многие теоретики пытались искать единый механизм, ответственный за все феномены зрительного пространственного восприятия. Современная точка зрения отличается от взглядов Л.Н. Могилева тем, что признается существование не двух, а большего числа автономных механизмов, вносящих вклад в формирование пространственной видимой картины.

2) “Показано, что в природных условиях эти два механизма не противопоставлены один другому и деятельность их направлена на решение общей функциональной задачи: обеспечения объективной пространственной информацией.”

– Для большинства естественных ситуаций это справедливо. Однако есть немало исключений, соответствующих условиям, когда один из механизмов может работать адекватно, а второй выдает неправильное решение из-за того, что какие-то параметры выходят за пределы диапазона его нормальной работы. В таких естественных ситуациях, как и в создаваемых искусственно, тоже можно говорить о “противопоставлении”, “борьбе”, конкуренции механизмов.

3) “Показано, что функциональное соотношение этих механизмов у различных животных неодинаково, что зависит как от уровня их организации, так и от экологических особенностей, характеризующих тот или иной вид.”

– Это было скорее логичное предположение, чем результат, поскольку исследованных животных было мало, а даже в пределах одного вида вариабельность результатов, полученных на разных особях, обычно весьма велика.

4) “Установлено, что в условиях эксперимента при моделировании относительного смещения элементов сетчаточной проекции при помощи специальных тестов эти механизмы могут быть в разной степени противопоставлены друг другу, что характеризуется качественной и количественной стороной возникающего пространственного эффекта. Показано, что силовые взаимоотношения механизмов пространственного зрения могут служить хорошей характеристикой функциональной организации зрительных центров.”

– Первая часть утверждения не вызывает сомнений, а для подтверждения второй было получено слишком мало данных.

5) “Установлено, что при центральных повреждениях зрительной системы (поля зрительной коры) деятельность стереокинетического и бинокулярного механизмов нарушается в разной степени, что резко изменяет их силовые взаимоотношения. Первый из механизмов в меньшей степени уязвим. Поэтому взаимоотношения этих механизмов характеризуют функциональную организацию не только в норме, но и при патологии”.

– Это принципиально важные общие положения, которые подразумевают разную локализацию рассматриваемых механизмов в зрительных отделах мозга. Однако для составления конкретных схем нужен очень обширный фактический материал: к настоящему времени обнаружены десятки зрительных зон как в коре мозга, так и в других его отделах.

6) “Охарактеризованы основные параметры совместности двойных изображений как условия бинокулярного синтеза при пространственном зрении. Использованы пространственные зрительные эффекты, возникающие при слиянии

двойных изображений, как показатели различных видов совместимости.”

– *Кратко прокомментировать данный пункт затруднительно, так как ясно, что параметры образов, формирующихся в экспериментально создаваемых условиях физиологического двоения при искусственном рассогласовании аккомодации и конвергенции (ведущем к снижению качества сетчаточных изображений из-за расфокусировки и к осложнению в работе интерпретационных механизмов), не могут не отличаться от образов, формирующихся в естественных условиях наблюдения соответствующих реальных объектов при согласованной работе всех зрительных механизмов, отлаженных для привычного повседневного функционирования.*

7) Показано, что стереокинетический и бинокулярный механизмы являются рабочими инструментами функциональной системы пространственного зрения, деятельность которых направлена на получение перцептивного результата – пространственного ощущения.

– *По этому поводу разногласий между предшественниками не было. Что же касается последующих изменений, то в настоящее время стереокинетический механизм рассматривают как один из трех различающихся между собой механизмов оценки формы и глубины, функционирование которых основано на анализе различных следствий различных видов движения. Термин “стереокинетический механизм” оставлен для частного случая вращательного движения.*

Более глубокие комментарии по каждому пункту потребовали бы привлечения слишком большого количества материала других авторов и цитирования многих источников, что не соответствует задачам данной журнальной статьи. Несколько более подробный анализ проведен далее лишь в отношении работ по тем направлениям исследований Л.Н. Могилева, которые относятся к психофизиологии пространственного зрения и оказались наиболее продвинутыми.

#### ПРОБЛЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗРЕНИЯ В ПЕРИОД РАБОТЫ Л.Н. МОГИЛЕВА

Период работы Л.Н. Могилева и его коллег по изучению механизмов пространственного зрения пришелся на эпоху исследовательского и концептуального штурма проблем “целостного зрительного восприятия”. Список этих проблем и предлагавшихся для их разрешения теорий, моделей и парадигм обширен, разнороден по степени научной достоверности и до сих пор оставляет непреодоленной брешь даже в терминологическом аспекте (языке и дефинициях базовых положений), не позволяющую и доныне проводить однозначно содержательные параллели между данными

дисциплин “психофизиология” и “техническое зрение”, а в рамках психологического подхода – четко разделить конструктивную суть методик психофизики и теоретически рассогласованного набора гипотез о “когнитивных механизмах зрительного процесса”. Для внятного изложения смены (либо существенной модификации) представлений, относящихся к научной деятельности Л.Н. Могилева по исследованию пространственного зрения, необходимо выборочно коснуться некоторых принципиальных моментов истории “вопроса о зрительном восприятии” и краткой систематики его современных трактовок и “устоявшегося аксиоматического фундамента”.

К числу достижений, оказавшихся весьма плодотворными для понимания проблем зрительного пространственного восприятия, следует отнести язык и список инвариантов *проективной геометрии*, аксиоматически построенной Ю. Плюккером, который ввел аналитику координатных описаний точек и линий в пространстве, уточнив не только известные по трудам Да Винчи законы линейной перспективы, но и добавив *количественную меру для строгой оценки “проективных искажений”*, вносимых оптикой зрительного органа (либо – камеры в системах технического зрения).

Для психофизиологов анализ многих сложных зрительных феноменов был существенно облегчен введением функционально удобного членения уровней восприятия на сенсорный, перцептивный и когнитивный. В частности, такое членение продуктивно при рассмотрении “познавательной роли” зрительных иллюзий, к числу которых относятся и феномены, изучавшиеся Л.Н. Могилевым.

Попытки решения *обратных* задач пространственного зрения наталкиваются на серьезнейшие трудности, присущие любому варианту информационной “телесной” реконструкции (интегральной либо фрагментарно частной) наблюдаемого мира. Важнейшая *геометрическая* причина *проблем* “чувственной (зрительной) реконструкции мира” очевидна: оптика глаза с неизбежностью сводит описание видимого 3D мира к двумерной картине – сетчаточной его проекции, где не заданы ни “особенности формы неплоских тел”, ни параметры их удаленности от наблюдателя. От полной триады координат пространства проекционное вырождение вынуждает сенсор при “онлайн синтезе мира” обходиться входной информацией, лишенной координат *глубины*. На раннем этапе развития моделей в техническом зрении формальное построение возможных механизмов (алгоритмов преобразования зрительной информации) пространственной реконструкции наблюдаемого закономерно привело к “концепции подвижного сенсора”. Ряд под-

задач пространственного синтеза оказался аналитически разрешимым в результате допустимости смены сенсорных проекций во времени: набор “ракурсов” делал корректной постановку задач геометрического синтеза (в статике единственного ракурса для некоторых конкретных ситуаций монокулярно не обеспечивающего решения вообще). При этом генезис обстоятельств кинетики в цепи проекций безразличен к тому, движется ли наблюдатель относительно тела динамически реконструируемой формы либо само тело смещается относительно неподвижного сенсора.

На уровне теоретических модельных предложений (в поиске подходов к разрешению частных обратных подзадач зрения) оказалось продуктивным членение процедур стереосинтеза на режимы монокулярной динамики (учет смещений/изменений проекций во времени) и бинокулярной статики (оценка глубины по паре одномоментных проекций), уже хорошо известное (и в ряде случаев детально изученное) из почти вековой истории психологических исследований. Заявленная Д. Марром догма об эффективном *численном моделировании* всех без исключения процедур в зрении (Magr, 1982) дала на примерах алгоритмически годных *независимых* методов 3D синтеза в статике и динамике дополнительные подтверждения идее о необходимости *арсенала* перцептивных шаблонов для “бесперебойного продуцирования выходной когнитивной версии зримого в реально изменяющихся конкретных условиях наблюдения, присущих среде обитания зрящего”, феноменологически демонстрируемой всей совокупностью опытных данных, накопленных к тому времени усилиями психофизиологов.

Однако границы применимости “компьютерной метафоры” требуют уточнения. Алгоритмист математик может доказать теоремы о числе минимально необходимых ракурсов “твердого облака точек” (в задаче реконструкции его 3D формы — по входным координатам вершин для ряда плоских центральных проекций некоего подвижного многогранника) — на материале последовательности таковых, заодно и оценить вычислительную сложность требуемой процедуры геометрического синтеза. В случае же *экспериментальной* парадигмы ситуация иная: исследователю когнитивных механизмов монокулярного динамического 3D синтеза *бионический* подход, “обещающий” разгадать схему реализуемой обработки сигналов (в терминах нейрональных процессов и через морфологию нервных путей и связей в соответствующих зрительных зонах мозга), вряд ли поможет. Для “прояснения сути нервных процессов, обеспечивающих искомое решение динамической задачи”, потребуется кропотливое объемное накопление базы метрических данных, предоставляемых многими испытуемыми в рамках

различных *психофизических методик* исследования.

Могилевский подход к постановке психофизических экспериментов соответствует нарождавшейся в период его работы идее методически исключить как можно большее число альтернативных механизмов или противопоставить два механизма для изучения их кооперативно-конкурентных взаимоотношений при формировании видимого образа (или феномена). В большинстве своих экспериментов Могилев “сталкивал” *статические механизмы бинокулярного синтеза* и *стереокинетический механизм* — один из механизмов, основанных на относительных смещениях и изменениях сетчаточных проекций с одновременным чисто интерполяционным “дообраиванием всей невидимой поверхности” в акте динамического восприятия.

#### РАБОТЫ Л.Н. МОГИЛЕВА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ СТЕРЕОКИНЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

*Исследования стереокинетического эффекта  
в свете общих проблем пространственного зрения*

Изучавшийся Л.Н. Могилевым стереокинетический эффект (СКЭ) относится к числу зрительных иллюзий, которые не только завораживают своей силой и убедительностью, но и могут быть использованы как инструмент, позволяющий исследовать психофизиологические механизмы зрительного восприятия и структуру зрительной системы. В ходе многолетнего исследования СКЭ с начала 70-х годов до середины 80-х представления Могилева и его коллег о сути СКЭ и о взаимоотношениях различных механизмов пространственного восприятия претерпели радикальные изменения. В первых сообщениях о наблюдении СКЭ преобладало подчеркивание того, что этот эффект отражает существование механизма восприятия глубины, не имеющего отношения к бинокулярным механизмам, в основе которых лежит сопоставление проекций наблюдаемых объектов с двух разных точек зрения. К примеру, на V Всесоюзной конференции по нейрокибернетике доклад Могилева с коллегами назывался “Пространственный зрительный эффект, полученный от рисованных плоских подвижных изображений без использования стереопары”, и они писали:

“Мы предполагаем, что этот пространственный зрительный эффект не является результатом деятельности высших механизмов пространственного анализа, не связан непосредственно с опознаванием зрительного образа, с формированием представления об объекте. Он обусловлен “первичным” механизмом пространственного зрения”.

(Могилев и др., 1973, с. 207)

Последующие исследования СКЭ привели Л.Н. Могилева к пониманию того, что наблюдение этой иллюзии в различных условиях зрения и с использованием разных зрительных стимулов как раз очень информативно в плане изучения процесса формирования видимых образов.

Переходя к рассмотрению конкретных экспериментальных результатов, полученных Могилевым и его коллегами при исследовании СКЭ как такового и его применении для решения разных задач, остановимся на предыстории генераций феноменов СКЭ как однозначно детерминируемой *иллюзии восприятия трехмерности*, порождаемой в случаях монокулярного предъявления вращающихся плоских объектов, для которых последовательная смена проекций не противоречит *пространственной* их интерпретации — в согласии с гипотезой о возможно трехмерной природе тела вращения. Материал этих и уже после Могилева проводившихся экспериментов с динамической иллюзией СКЭ логично соответствует парадигме: если динамика предъявлений *плоского* объекта следует (с приемлемой погрешностью) формальной модели его *трехмерной* интерпретации, то такая модель “реально” проявится в восприятии, притом дополненная операциями интерполяции “непрерывной поверхности гипотетического тела” и зачастую не разрушаемая бинокулярными признаками, указывающими на *плоскую* форму объекта.

Вышесказанное отнюдь не исчерпывает списка проблем, до сих пор не имеющих решения на уровне универсальных достаточных концепций *константного зрения*: для пространственной стабильности когнитивно порождаемой картины наблюдаемого (т.е. для непрерывно поддерживаемой модели “диспозиции и формы объектов наблюдаемой сцены”) требуется обеспечение инвариантности ее 3D образа, не разрушаемого при постоянно идущей смене сетчаточных проекций в ходе вергентных движений глаз (инвариантность к смене направления оптических осей глаз), равно как и стабильности “модели интерьера”, инвариантной к происходящим сдвигам “эгоцентра визуализации” (при перемещениях головы наблюдателя — в его движениях по отношению к неподвижному интерьеру). Анализ проявлений второго типа константности целесообразен при обсуждении циклической смены пространственных решений, наблюдающейся и для плоских композиций в вариантах “куб Неккера” либо “лестница Шредера”, и при характерном эпизодическом “выворачивании формы” иллюзорных образов в процессе длительного наблюдения СКЭ, изучавшемся и описанном Л.Н. Могилевым в его монографии.

До детализации этих экспериментов уместен краткий комментарий логично объясняемым

причинам “интерпретационных метаморфоз кубов и лестниц”. В обсуждениях фигурируют две формальные разновидности оптической трансформации, переводящей трехмерную композицию ребер многогранника (в некой условной сцене) в плоскую его проекцию, производимую сенсором. Геометрия графа ребер может соответствовать простейшей параллельной разновидности проецирования (реализуемой длиннофокусным объективом или телевиком). Незначительным усложнением схемы можно реализовать и вариант *центральной* проекции (он моделирует оптические свойства короткофокусной камеры). Привлечением этих нетождественных моделей проецирования удастся объяснить разницу иллюзорных интерпретаций (фигура либо стабильна в версии псевдо-реконструкции, либо циклически меняет воспринимаемый облик “виртуального тела”). Трактовка периодически возникающей нестабильности “иллюзорного 3D синтеза” тривиальна: *параллельная* проекция допускает два возможных варианта пространственной интерпретации формы графического объекта, и они возникают, сменяя друг друга по ходу попыток виртуальной экстраполяции. Центральная же проекция содержит вычислимые (в зрительном анализаторе — предположительно — оцениваемые) признаки *уникальной* версии пространственной реконструкции сенсорной плоской проекции “иллюзорного тела”, что и обеспечивает устойчивость произошедшей трехмерной его экстраполяции.

На примере “цилиндров Ульмана” (Ullman, 1979) обсуждаемое отличие типов реконструкции плоского поля стимулов удастся динамически воспроизвести на экране монитора. Если (для стробоскопического предъявления) программа симуляции сцены моделирует схему *параллельной* проекции кругового цилиндра, вращающегося вокруг неподвижной оси с постоянной угловой скоростью (в ситуации, когда ось ориентирована “поперек” направления наблюдения), притом “прозрачная” его поверхность визуально представлена исключительно набором случайным образом размещенных светящихся (на темном фоне) точек, то наблюдающий в динамике эту картину “видит” вращающийся цилиндр, но не может указать направление вращения (версии попеременно меняются, а происходит это потому, что наблюдатель не может уверенно оценить, какая из сторон цилиндра ближняя, а какая — дальняя). В случае реализации варианта *центральной* проекции динамического объекта наблюдатель стабильно и адекватно различает ближнюю и дальнюю стороны прозрачного стакана, безошибочно оценивая направление и скорость его вращения.

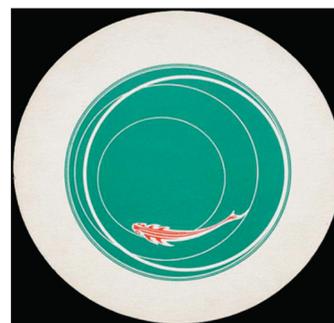
Возвращаясь к примерам четкого проявления пространственной константности *видимого поло-*

жения, присущей человеку в бинокулярном и монокулярном режимах тестирования, отметим, что прямоугольный параллелепипед ребер, где состыкованы потолок, стены и пол в пустой комнате, по которой перемещается наблюдатель, воспринимается им реально стабильно и адекватно, и ни одна из видимых трехгранных вершин интерьера никогда не меняет ориентационной версии, как это происходит с плоской моделью “куб Неккера”, где в статике воспринимается проекция того же самого прямоугольного параллелепипеда. В случае с реальной комнатой за жестко адекватное восприятие 3D формы помещения в гетерархии модулей реконструкции содружественно “голосуют” моно- и бинокулярные гештальты глубины, и их реакция поддерживается в том числе “тонкими проверками” в блоках соответствия *цветоконстантной* и пространственной моделей освещения и окраски, использующих ключевые признаки поведения бликов и авторефлексов (Николаев, 1987), тогда как для куба Неккера кластер модулей полем стимулов не активирован. Итог: *иллюзия-перевертыш*.

*Краткая история создания изображений для наблюдения СКЭ и его исследования до работ Л.Н. Могилева*

Среди предшественников Л.Н. Могилева в истории исследований СКЭ выделяются две крупные фигуры – французского и американского художника Марселя Дюшана (Henri Robert Marcel Duchamp: 1887–1968) и итальянского философа и психоаналитика-фрейдиста Чезаре Музатти (Cesare Luidgi Musatti: 1897–1989), чья судьба оставила в истории след, напрямую связанный с экспериментами, порождавшими СКЭ. По-видимому, первым увлекся этим эффектом Марсель Дюшан, который в 1913 г. создал инсталляцию “Велосипедное колесо”, считающуюся исходным ростком произведений кинематического искусства. Хотя данное произведение не имело отношения к СКЭ, экспериментирование с вращающимися предметами и изображениями быстро привело Дюшана к открытию эффектных иллюзий, заключающихся в трансформации плоских фигур в объемные при их вращении. В искусстве эти иллюзии не получили специального названия, а сам Дюшан называл свои изображения, порождающие иллюзии типа СКЭ, “роторельефами”, нумеровал их и издавал альбомы дисков с такими изображениями. Примеры придуманных Дюшаном изображений, вызывающих СКЭ, приведены на рис. 1.

Дюшан более известен благодаря вкладу в культуру модерна и считается одним из основателей нового искусства. Юность XX века ознаменовалась революционным натиском на каноны классического искусства, в том числе – на нормы



**Рис. 1.** Набор роторельефов – “психоделических игрушек” Дюшана. Отдельно целиком показаны роторельефы № 12 и № 5 (1935 г.).

и гуманистические цели творений изобразительного жанра, – с его тысячелетней культурной традицией. В России рождались: “космический футуризм” П. Филонова, самобытный и яркий абстракционизм В. Кандинского, магический

реализм М. Шагала, супрематизм К. Малевича. На Западе — после прелюдии импрессионизма и первых экспериментов в стиле “сюр”, “наив”, “дада”, “набиды” (а также “экспрессив”, “кубизм” и “метафизика”) стали бойко провозглашаться амбициозные и “сшитые концептуально” манифесты Нового Искусства, мир стоял на пороге финальной отмены светлых задач фигуративного стиля, из-за оград средиземноморской цивилизации поднималось серое солнце поп-арта... Была во всей этой авангардной круговерти и вполне себе позитивная “новинка”: родился и родил интерес в стане любознательного обывателя жанр *кинематического* искусства, сразу же крикливо поддержанный заумью философствующих теоретиков. Среди мэтров революционных трактовок был определенно заметен один из творцов сюрреализма и коцептуализма (с проекцией — в постмодернизм, дадаизм, OpArt) шахматист, скульптор, фотограф, теоретик искусства, провокативный агитатор направления Ready-made (ставшего доминантой поп-арта), — “скандальный француз с американским паспортом” Марсель Дюшан, столь же громогласный “учитель слепой толпы”, как и его известные собратья по яростному пиару — Бретон, Маринетти, Дали и прочие глашатаи-провозвестники Новой Зари. Немногочисленные шедевры Дюшана хранятся в ведущих музеях Европы и США.

Эффектные пространственные иллюзии, порождаемые многочисленными и разнообразными дисками Дюшана, широко демонстрировались уже в 1920 г. и затем на протяжении многих лет. Они не могли не стимулировать изучение восприятия объемной формы на основе относительного смещения сетчаточных проекций, оказав влияние на многих исследователей пространственно-восприятия. Без сомнения, был с ними знаком и Могилев, но цитировать Дюшана он не мог по причине отсутствия у этого художника научных публикаций.

Наиболее часто цитируемой ранней научной работой по СКЭ является статья (Musatti, 1924) итальянского ученого Чезаре Музатти, который был учеником Витторио Бенусси (Vittorio Benussi) и отмечал, что именно Бенусси первым описал данный эффект и дал ему название. Могилев неоднократно цитировал указанную работу Музатти, в том числе в опубликованной на итальянском языке коллективной статье (Mogylev et al., 1978), где одним из соавторов был G. Rizzolatti — итальянский коллега, связанный с кафедрой Могилева. В этой статье также приведена ссылка на более позднюю публикацию Музатти (Musatti, 1931), которая носит теоретический характер. В ней автор для объяснения СКЭ применяет понятия и представления гештальт психологии — теорию восприятия с участием ассимиляции. Эта работа Музатти имела меньший резонанс.

В своей первой статье по СКЭ Музатти достаточно подробно описывает эксперименты Бенусси (они не были опубликованы) и обсуждает разные виды восприятия третьего измерения, которые базируются на информации, получаемой в результате движения объектов или наблюдателя, разделяя их на три класса: восприятие глубины сцен на основе параллакса движения; восприятие трехмерной формы объектов при наблюдении проекций вращающихся фигур (в современной терминологии это KDE — kinetic depth effect); восприятие глубины и объемности, порождаемое определенными плоскими изображениями при их вращении. Термин “стереокинетический эффект” (СКЭ) Музатти оставляет только за пространственными эффектами третьего типа.

Примеры тест-объектов, использованных Музатти для наблюдения СКЭ, приведены на рис. 2. Один из них (рис. 2, а) близко напоминает излюбленный объект Могилева с набором эксцентрически расположенных колец, только в тест-объекте Музатти кольца распадаются на две группы.

При вращении указанного паттерна возникает иллюзия наблюдения вместо плоского диска двух объемных конусов (большого и соединенного с ним маленького). В процессе длительного рассматривания из-за неоднозначности знака глубины иллюзорных фигур такого типа оба конуса эпизодически независимо “выворачиваются”, так что в видимом образе сменяются четыре варианта: на внутренней или внешней поверхности большего конуса виден выступающий или вдавленный малый конус. Следует отметить, что варианты иллюзорных конусов сменяются резко, каждая форма какое-то время видна как стабильная “жесткая” (если так можно сказать о фантоме) конструкция. В отличие от этого, при вращении второго показанного на рисунке тест-объекта Музатти (рис. 2, б) в видимом образе чередуются как жесткие, так и плавно трансформирующиеся трехмерные образования.

Основная часть научного наследия Музатти не имеет прямого отношения к зрительному пространственному восприятию, и главными его произведениями являются труды по философии, психологии и психоанализу. Его фундаментальные книги (такие как “Trattato di psicoanalisi”, “Geometrie non euclidee e problema della conoscenza”) переиздаются и пользуются спросом до сих пор.

Из близких по тематике публикаций своего времени Могилев отмечал статьи (Fisher, 1956; Mefferd, Wieland, 1967), но в дальнейшем его работы по СКЭ почти не пересекались с работами зарубежных авторов. У него намечилось и стало активно развиваться свое оригинальное направление исследований, связанное с практическим применением СКЭ в физиологии и офтальмо-

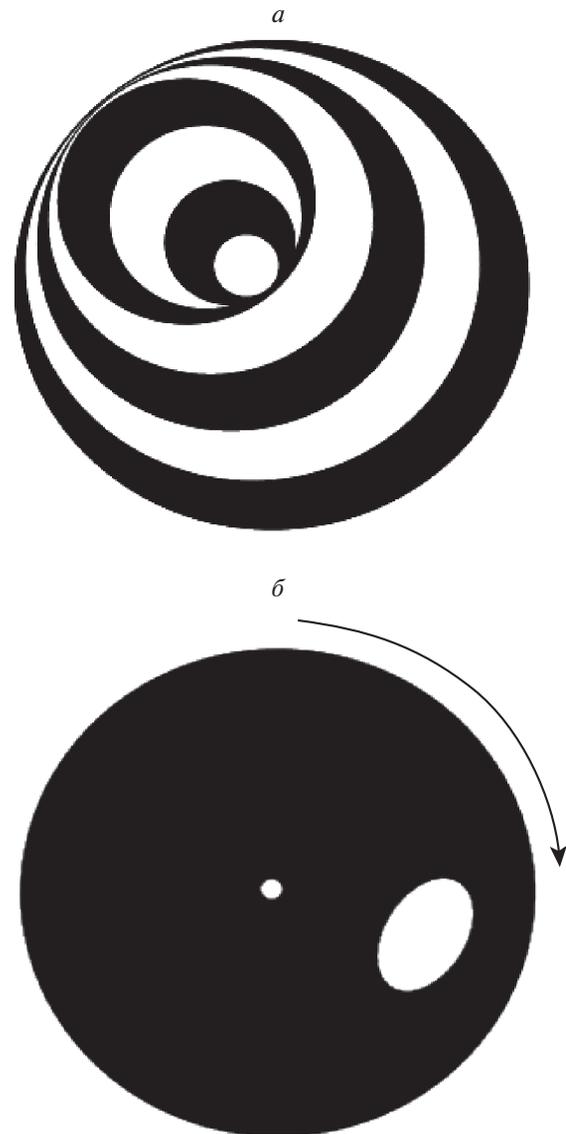
гии для изучения структурно-функциональной организации зрительной системы человека (и животных), диагностики нарушений бинокулярного зрения и восстановления нарушенных бинокулярных функций. Большая часть публикаций Могилева, его учеников и последователей в 70- и 80-х гг. были посвящены разработке именно этого направления. К сожалению, кроме докторской диссертации и монографии Л.Н. Могилева (Могилев, 1979; 1982) и диссертаций И.Л. Рычкова (Рычков, 1974; 1985), развернутого изложения результатов, полученных на этом пути, нет. Имеющиеся публикации носят реферативно-тезисный характер (Могилев, 1975; 1976; 1978а, б; 1982; Могилев, Бояркина, 1978; Могилев, Рычков, 1974а, б; Могилев, Уфимцева, 1978; Могилев и др., 1973; Могилев и др., 1975).

Представление о том, как развивались работы по СКЭ на рубеже веков и в новом столетии другими авторами, можно получить из статей аналитического и обзорного характера (Wallach, Centrella, 1990; Proffit et al., 1992; Kramer et al., 2014). В рамках данной юбилейной статьи их обсуждать нет возможности.

#### *Теоретический анализ работ Л.Н. Могилева по исследованию СКЭ*

Изложим и обсудим наиболее важные, на наш взгляд, постановки экспериментов Л.Н. Могилева в ходе изучения СКЭ и выводы из них, сделанные им, — в сопоставлении с тем прогрессом в рамках этой темы, что по причинам сегодняшних возможностей быстрого, точного и более пластичного компьютерного моделирования (мощь ресурса технического зрения в сравнении с могилевскими инструментальными подходами) меняют акцентацию и “рейтинг фундаментальности” в пуле осмысленных ныне аспектов СКЭ. С этой целью на иллюстративном материале цитированной его монографии (Могилев, 1982) опишем “упорядоченное разнообразие фиксированных правил”, детерминировавших графическое оформление (в основном плоских) дисков, вращение которых (с управляемой угловой скоростью) давало СКЭ (рис. 3, включающий рис. 5 и 6 из монографии Могилева).

Начнем с терминологии. Основной объект, при помощи которого Могилев воспроизводил СКЭ, представляет собой круглый диск с кольцеобразными черными полосами на белом фоне. Эти полосы автор называет “кольцевыми элементами”, а “эксцентриситетом” — величину отношения  $e = P/R$  сдвига  $P$  центра внешней либо внутренней *окружностей*, ограничивающих полосу, относительно центра вращения, к радиусу  $R$  диска. Важно отметить, что фактор *ширины* полосы, отмечаемый Могилевым, не определяет “напрямую” величину, устойчивость и “простран-



**Рис. 2.** Примеры тест-объектов, использованных Музатти (Musatti, 1924).

ственную форму” иллюзии СКЭ, являясь лишь опосредованной (суммарной) причиной создаваемого эффекта. Прямым информационным источником СКЭ фактически является независимое воздействие на восприятие каждой из двух контрастных *границ* (скачок яркости *черное/белое*), образующих полосу. Параметр  $e$ , введенный Могилевым, безусловно, характеризует СКЭ, однако, “однозначно объясняет его” лишь совместный анализ *пары*  $e_{ext}$  и  $e_{int}$  (т.е. внешней и внутренней границ полосы). Это уточнение определяет разницу производимого впечатления в ситуациях *равной* и *переменной* ширины полос: в первом случае образ имеет ступенчатый вид, во втором — чаще всего гладко конический. И причина тут — в допустимой *проективной* “экстраполяцией” плос-

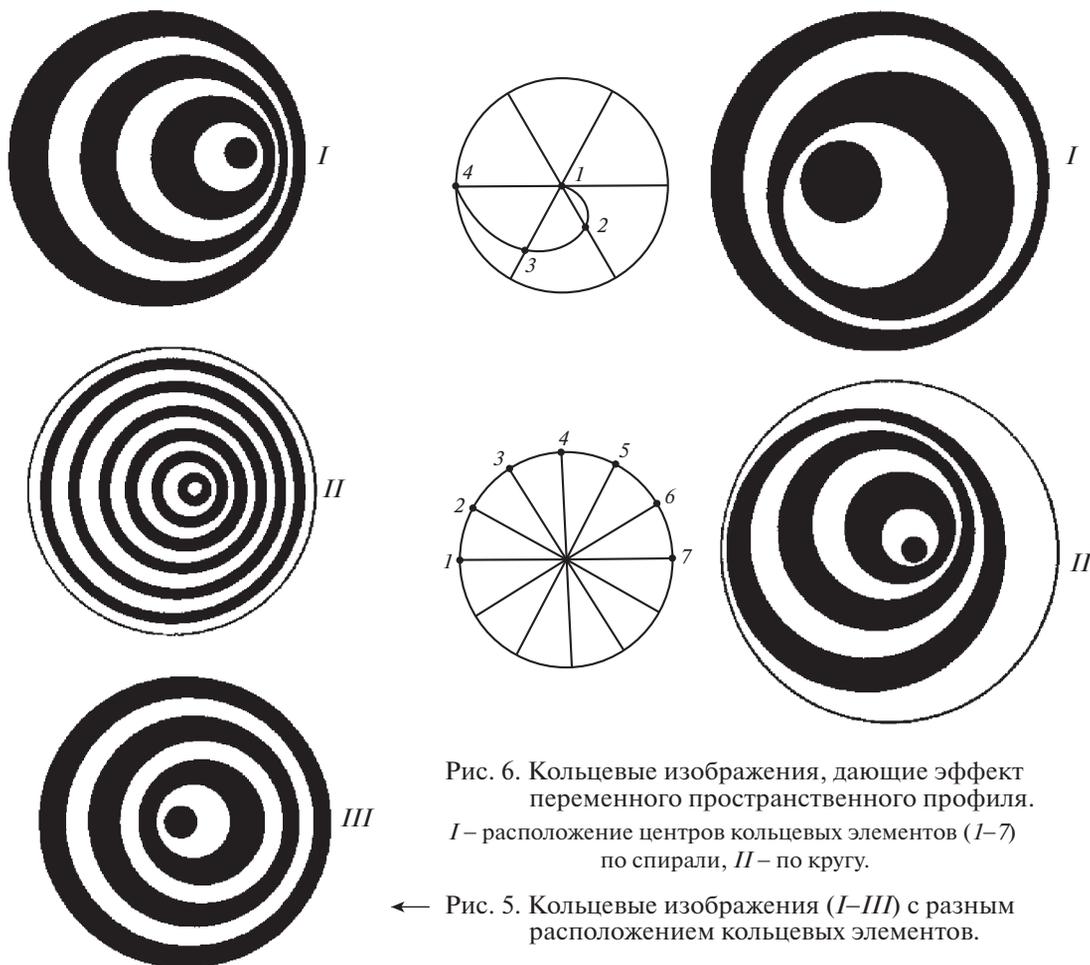


Рис. 6. Кольцевые изображения, дающие эффект переменного пространственного профиля. I – расположение центров кольцевых элементов (1–7) по спирали, II – по кругу.

← Рис. 5. Кольцевые изображения (I–III) с разным расположением кольцевых элементов.

Рис. 3. Скан страницы с рис. 5 и 6 из монографии (Могилев, 1982), демонстрирующий вид дисков, порождающих СКЭ с разнообразием форм иллюзорно экстраполируемых “тел”: в левом вертикальном ряду – гладких (I, III) либо ступенчатого вида (II), а на правом фрагменте (соответствующем рис. 6 монографии) – с переменным (I) либо “спирально извитым” профилем (II).

кой графической картины диска. Конус, в “3D пространстве интерпретации”, расчерченный полосами *одинаковой* ширины и спроецированный не в направлении его оси симметрии (в этом случае эффект СКЭ отсутствует), на *проекции* (а она и есть диск) будет иметь “закономерно *переменную*” ширину. Вклад в СКЭ *каждой* границы контраста, а не *полосы* (как пары границ), и определяет все возникающие эффекты. Заметим, что в коллекции “роторельефов” М. Дюшана (рис. 1) преобладают изображения, где нет полос, но имеются контрастные *линии*, “по Могилеву – разного *e*”, т.е. наличие полос не обязательно для возникновения СКЭ. Форма кольцевых элементов (во всех могилевских экспериментах с плоскими дисками), образованных границами *окружности*, не согласуется с версией интерпретации “виртуального тела” в рамках *центральной* его проекции, удовлетворяя *параллельной*, следствием чего и объясняется констатируемая Могилевым неустранимая полностью двойственность

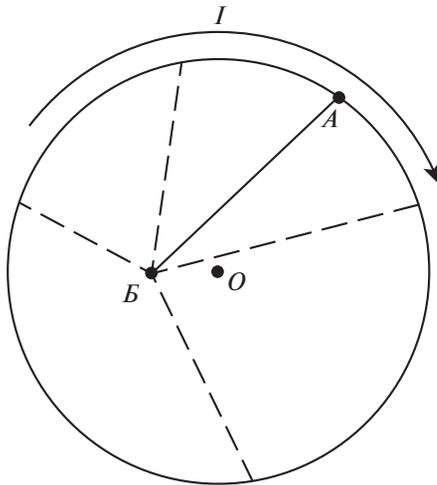
восприятия СКЭ (наблюдателю не удается *стабилизировать* иллюзорный пространственный образ): “3D реконструкция” попеременно выглядит то *выпуклым* телом (гладким либо ступенчатым конусом, а при определенных композициях *e* может создавать образ *криволинейного* конуса, наподобие “шляпы волшебника”), то *вогнутой* поверхностью типа *воронки* (прямой, кривой либо подобной амфитеатру). Более того, в терминах “могилевского *e*” безошибочно выявленные им закономерности организации “кольцевых элементов” дают (в полном согласии с проекционной гипотезой о форме экстраполируемого 3D образа) и более сложные варианты “иллюзорных поверхностей”: вид *кругового* конуса может быть “усложнен” до *эллиптического* либо соответствовать неким уже не-квадратичным формам поверхностей рода “спирально витого конуса” (см. правую часть рис. 3). Однако и такими вариантами “иллюзорных тел – из числа образов *ригидных*” (в опытах с плоскими дисками) не исчерпы-

вается “интерполяционно-экстраполяционная мощь” механизмов СКЭ человека, продемонстрированная и описанная Могилевым. Им показаны (в том же задании через параметр  $e$ ) правила организации полос, дающие СКЭ вида пульсирующей (с периодом в один оборот диска) 3D формы образа, не обладающего уже и свойством “твердости” (вид такого диска показан на той же правой части рис. 3). Целесообразно обсудить геометрическую природу “носителя” этой самой динамической интерполяции образа СКЭ, привлекаемого в качестве опорного элемента в процесс его реконструкции в схеме *параллакса движения*.

К тем же самым *линейчатым* поверхностям (с их нулевой гауссовой кривизной), что и образы СКЭ конусов у Л.Н. Могилева, относятся круговые цилиндры (также имеющие пространственную ось симметрии и в рамках проективной геометрии от круговых конусов не отличимые), интерполяционную динамическую экстраполяцию которых – в режиме дискретного представления их формы опорным облаком *точек* при стробоскопическом предъявлении испытуемому-наблюдателю – исследовал Ш. Ульман (этот фундаментальный труд 1979 г. мы упоминали в начале раздела). Что же представляют собой (для акта динамической репрезентации формы) линии контрастных границ полос на могилевском “кольцевом элементе”? Ответ однозначный и несложный для его осмысления читателем: каждая такая линия (а это всегда окружность) – для зрительного блока интерпретации, порождающего СКЭ, согласно “динамической модели” – след движения виртуальной опорной точки по своей контрастной границе. Ансамбль всех таких границ интегрируют (через перманентные проверки соответствия 3D гипотезе образа) механизмы синтеза зрительного образа наблюдателя, при условии, что весь предъявляемый набор этих траекторий динамически содружественно интерполирует *поверхность* единого гладкого и *вращающегося* тела. Она-то и проявляется в восприятии как пространственный образ СКЭ. Иными словами, композиция поля контрастных стимулов, представляя собой сеть линий на вращающейся карте, не противоречит гипотезе “о задании любой опорной точки на своей круговой границе, гипотетический *пространственный* ансамбль которых, мог бы в свою очередь принадлежать единой двумерной поверхности”, что и дает “разрешение на старт и поддержание образа”. В информационном смысле процесс вращения – не фактор “шума, который не мешает”, а ровно наоборот – *единственный* поставщик динамического набора “как бы дискретных ракурсов” иллюзорного тела, что и обеспечивает перцептивный его стереосинтез (мы сознательно не подняли уровень СКЭ до *когнитивного*, подчеркивая сугубо детерминированный механизм его проявле-

ния, не нуждающийся в конкурентном соперничестве альтернативных гештальтов с их иными пространственными решениями). Невозможность при помощи “диска фиксированной текстуры” (в сравнении с методиками, использованными Могилевым, например, с приемом генерации образа, описанным им во фрагменте “Моделирование при помощи мультипликационных изображений” на стр. 35 монографии) менять стимульное поле сообразно более сложным постановкам задач исследования, смещает предмет нашего анализа к рассмотрению приемов получения СКЭ, сближающих “идеологически” исследования Могилева и Ульмана.

Стробоскопически предъявляемый закольцованный мультфильм позволяет изучить, какого вида контрастными элементами и с какой минимальной плотностью их “разметки в качестве узлов интерполяции” для поверхности экстраполируемого динамически “тела” механизм использования параллакса движения может стабильно трансформировать поле входных стимулов в образ СКЭ. Рассматривавшиеся до сих пор примеры касались роли “точек” (в качестве источника информации, требуемой для синтеза образа). На *цилиндре Ульмана* они своей принадлежностью его поверхности (в виде случайного распределения) продуцировали эллиптические траектории, геометрия которых согласно зафиксированной и вычислительно воспроизводимой проекционной модели рождала образ вращающегося прозрачного и гладкого стакана – с ощущаемой угловой скоростью его вращения вокруг оси симметрии и ее “чувственно оцениваемой” ориентацией в виртуальном пространстве. У образов, индуцированных дисками Могилева, круговые траектории контрастных границ полос уже “стимульно фигурируют” во входном паттерне, только любая прямолинейная образующая (исходящая лучом у этой линейчатой поверхности из вершины конуса) в каждый момент времени представляет собой коллинеарный набор точек на пересечении с контрастными границами полос (целиком вращаемого паттерна). Реализуется интегрально *тождественное* задание поверхности “рождаемого 3D образа”, хотя интерполяционную сетку можно альтернативно определять и как ансамбль круговых *сечений* поверхности, ортогональных оси ее вращения – числом  $2N$  (если число полос на диске  $N$ ), но с равным успехом и формулировать в виде динамически заматающего поверхность набора из  $2N$  коллинеарных точек на любой *образующей* интерполируемого конуса, пересекаемой в этих точках набором  $2N$  сечений (более сложные композиции могилевского дескриптора  $e$  поворачивают сечения относительно соседних, что трансформирует каждую образующую в криволинейный отрезок, а образ – в искаженный (согнутый, спирально завитый) квази-конус

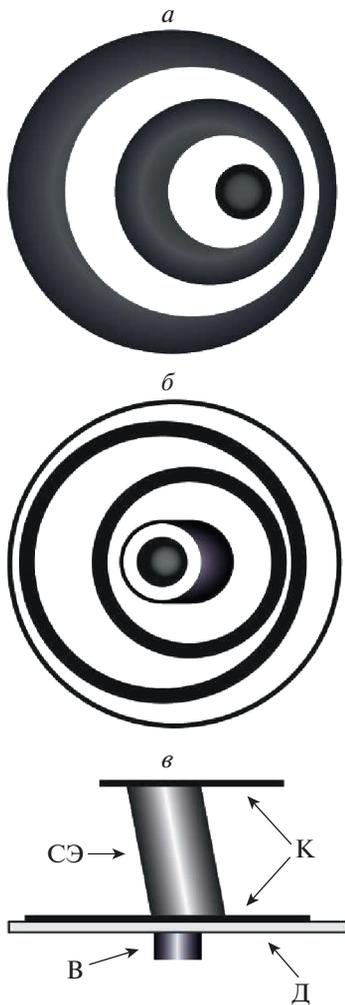


**Рис. 4.** Динамическая схема формирования мультипликационного изображения: круговое движение отрезка А–В переменной длины создает иллюзию конического тела – при разнесении позиций точки В и центра окружности, по которой скользит точка А.

(правый фрагмент на рис. 3). Перейдем к анализу экспериментально показанного Могилевым факта, в варианте техники мультипликации демонстрирующего впечатляющий *минимум* информационной базы поля стимулов, достаточный для появления образа – по итогам успешной работы механизма динамической интерполяции (рис. 4, где воспроизведен левый фрагмент рис. 15 из монографии Могилева). Предложенная минимизация экспериментального инвентаря грандиозна: исчезли полосы с их двойными границами, нет более необходимости вращать диск. Вращающимся (на экране) остался лишь *отрезок* с закрепленной точкой (т.е. луч). Его переменная длина регулируется жесткой связью с окружностью, центр которой смещен относительно начала луча (на рисунке – по горизонтали вправо). Этот “предельно простой антураж” вызывает у наблюдателя (при полном обороте луча за 1 с) устойчивое впечатление непрерывной (воспринимаемой без сектора урезания) конической поверхности. Идея “фильма” – “до смешного проста”: в ролике воспроизведено напрямую замечание кругового конуса лучом его образующей. Этого оказывается уже достаточно для получения устойчивого образа конической поверхности (о случаях наблюдаемой инверсии вогнутость/выпуклость образа Могилев не упоминает, поэтому мы не знаем, какая проекционная схема была реализована при создании ролика). Накопился описательный материал, позволяющий декларировать реальность встречно симметричного обогащения методик Могилева и Ульмана – с целью дополнительно обрисовать мощнейшие возможности нейронального блока интерполяции, про-

являющиеся в иллюзиях СКЭ, но эволюционно сложившиеся для обеспечения 3D константной картины мира, наблюдаемого в динамике, – привлечением схемы параллакса.

Методический прием Могилева без всякого усложнения переносится на модель Ульмана: вместо облака случайных точек динамическую интерполяцию цилиндра задает циклически скользящая его образующая, параллельная оси симметрии. В этом случае нет необходимости обеспечивать (как и в ролике Могилева) иллюзию собственного вращения дисплея симулируемого “тела”, ведь образующая всегда конгруэнтна ей задаваемой поверхности, а потому служит исключительно целям пространственной интерполяции. В ситуации привлечения ульмановской техники поддержания модели “конуса Могилева” с помощью создаваемой численными методами интерполяционной сетки узлов случайной дислокации – также нет ни тени сомнения в “эффектоспособности” такой методики, ибо в проективном смысле круговой цилиндр и конус аналитически (сигнально информационно) эквивалентны. Общность же ключевого слова “образующая” напоминает нам о том, что конус и цилиндр принадлежат семейству линейчатых поверхностей, к числу которых относятся и представители отрицательной гауссовой кривизны – однополостные гиперболоиды (примером подобного объекта, где при помощи прямолинейных отрезков – балок – можно выстроить криволинейную структуру с положительной и отрицательной главными кривизнами, является известный памятник Москвы – телевизионная “башня Шухова”). Идею-шаблон “отрезок образующей у Могилева” можно обобщать и далее, уже в отрыве от задачи интерполяции, но все еще в контексте проблемы актуального (ежедневно требуемого) поддержания константной модели мира – в опоре на алгоритм параллакса движения, перцептивно согласованный с проекционной моделью зрительной линейной перспективы (Николаев, 1987). Характернейшим примером этого фантастически эффективного подхода к динамической обработке “поля визуальных сигналов” – в ситуации их крайне бедного представительства – может послужить фрагмент мультфильма Норштейна “Ежик в тумане”, когда “из-за тумана” от наблюдаемых объектов мира остались лишь “черные отрезочки” (ветки кустов, сквозь гущу которых летит вперед камера-эго-глаз зрителя), но проекционно согласованный плоский массив черточек на экране дарит зрителю без каких-либо девайсов стереоподдержки мощнейшую иллюзию движения сквозь *3D сцену*, где нет тел, бликов, окрасок, где бесильны гештальты рефлексов и бинокулярные модули! На этом мажорном аккорде придется закончить обсуждение наиглавнейших теоретических основ эксперименталь-



**Рис. 5.** Типичные зрительные стимулы, использовавшиеся в психофизических и поведенческих экспериментах по исследованию СКЭ: кольцевое изображение – *a* и объемный инверсионный тест-объект (*б* – вид со стороны наблюдателя, *в* – вид сбоку).

Обозначения: К – кольца, СЭ – структурный элемент, Д – диск вращения, В – втулка для крепления на оси мотора.

ных методов и идей Л.Н. Могилева, чтобы представить результаты его экспериментальной лабораторной работы и прикладных исследований.

#### *О психофизических и поведенческих экспериментах с применением СКЭ*

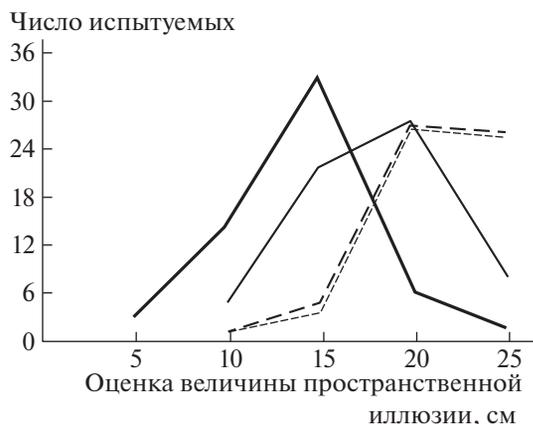
В эволюционном аспекте Л.Н. Могилев связывал развитие механизмов пространственного зрения с двигательными возможностями животных, их активностью в процессе пространственной ориентации и при решении других зрительных задач. Считая относительное смещение элементов сетчаточных проекций объектов при движении как самих животных, так и наблюдаемых объектов самым древним из механизмов пространственного зрения, Могилев придавал

большое значение использованию СКЭ для исследования общей организации системы пространственного восприятия у человека и животных. Как уже упоминалось, его докторская диссертация называлась “Пространственные зрительные эффекты как показатели функциональной организации зрительных центров”.

На кафедре Могилева были развернуты соответствующие масштабные работы, включающие психофизические эксперименты на человеке (с привлечением как здоровых испытуемых, так и пациентов с различными поражениями ЦНС вследствие опухолей, травм, инсультов, абсцессов) и поведенческие опыты на животных (интактных и с хирургическим повреждением зрительных полей 17, 18 и 19 коры головного мозга). На начальных этапах проводилось много пробных исследований с целью отбора наиболее удобных и эффективных стимулов и способов их предъявления, с одной стороны, а с другой – наиболее подходящих способов регистрации реакций и количественной оценки наблюдаемых эффектов.

Для моделирования относительного смещения элементов сетчаточного изображения удаленных предметов в экспериментах использовали как плоские кольцевые изображения, так и объемные вращающиеся тест-объекты с различными параметрами. Примеры использованных зрительных стимулов показаны на рис. 5.

Важным методическим достижением было изобретение пар объемных тест-объектов двух принципиально различных типов, названных инверсионным и безынверсионным. Один из таких объектов (инверсионный) показан в двух ракурсах на рис. 5 (*б*, *в*). Его составными частями были два кольца на прозрачных подложках, имеющие разный размер и “эксцентриситет” *e* по отношению к оси вращения диска, на котором они крепились: больший – непосредственно, а меньший – на специальной наклонной подставке. В условиях бинокулярного наблюдения с небольшого расстояния (2–3 м) такой инверсионный тест-объект при вращении обеспечивал ощущение истинного расположения колец в пространстве, а в условиях монокулярного наблюдения положение колец в пространстве казалось противоположным (они как бы менялись местами). Парный безынверсионный тест-объект, отличающийся от инверсионного только смещением точки крепления на подставке, при вращении обеспечивал ощущение истинного расположения колец по глубине, как при бинокулярном, так и при монокулярном наблюдении. Очевидно, что такие пары объектов идеально подходят для исследования взаимоотношения бинокулярных механизмов восприятия глубины и механизмов, основанных на относительном смещении сетчаточных изображений, определяющих величину СКЭ. В контрольных



**Рис. 6.** Распределение испытуемых по оценкам величины СКЭ. Сплошные линии соответствуют условиям бинокулярного наблюдения с расстояния 3 м (жирная линия) и 6 м (тонкая линия). Штриховые линии соответствуют условиям монокулярного наблюдения с расстояния 3 м ведущим глазом (верхняя линия) и неведущим глазом (нижняя линия, почти совпадающая с верхней).

опытах использовались также плоские изображения проекций объемных тест-объектов на плоскость опорного диска.

В большей части экспериментов на людях использовали плоские кольцевые изображения (рис. 5, а), которые позволяли легче варьировать параметры стимулов. Инверсионные и безынверсионные тест-объекты оказались особенно удобными для экспериментов на собаках с использованием условнорефлекторной методики и пищевого подкрепления.

#### *Исследования взаимоотношений монокулярных и бинокулярных механизмов пространственного зрения на людях и собаках*

В различных сериях экспериментов на людях ставились задачи определения зависимости величины СКЭ от различных параметров тест-объектов и условий наблюдения (в частности, в целях выбора наиболее удобных и эффективных стимулов для ускорения измерений) и оценки силовых взаимоотношений бинокулярного и стереокинетического механизмов восприятия глубины. Для участия в массовых экспериментах привлекали молодых людей в возрасте 18–25 лет с нормальным зрением. В различных сериях опытов обычно участвовали 100–200 человек. В опытах на пациентах с патологиями ЦНС, по естественным причинам, число участников было меньше.

В экспериментах широко варьировали параметры и условия стимуляции: число колец и их “эксцентриситет” в плоских стимулах, скорость вращения тест-объектов, фон, на котором они предъявлялись, расстояние наблюдения, условия освещения. Даже упомянуть все эксперименталь-

ные парадигмы в данной статье не представляется возможным, не говоря уже об изложении полученных результатов и их обсуждении. Кроме того, как уже упоминалось, детальных публикаций по результатам экспериментов очень мало. Поэтому мы приведем здесь данные только одной серии экспериментов, которые фигурируют и в докторской диссертации, и в монографии Могилева (рис. 6).

В представленной серии экспериментов сравнивали данные, полученные в результате оценки величины СКЭ у здоровых молодых людей в монокулярных и бинокулярных условиях зрения при двух различных расстояниях наблюдения (3 и 6 м). Оставляя в стороне вопрос о технической стороне построения графиков (на который теперь никто не сможет ответить), можно утверждать, что ожидаемое “подавляющее” влияние бинокулярных механизмов пространственного восприятия на СКЭ, выражающееся в уменьшении величины иллюзии глубины при переходе от монокулярного зрения к бинокулярному, четко видно (сравните данные при расстоянии наблюдения 3 м). С использованием такой же методики этот вывод был позднее подтвержден другими авторами и дополнен описанием возрастных изменений исследуемых взаимоотношений двух механизмов пространственного зрения, в частности в работах (Рожкова, Васильева, 2001; Васильева, Рожкова, 2010). Влияния на СКЭ доминантности глаз в монокулярных опытах не было обнаружено: результаты, полученные при наблюдении ведущим и неведущим глазом, практически совпадали.

Интересные, но явно предварительные данные, полученные при жизни Могилева на пациентах с различными поражениями ЦНС, нужно обсуждать с учетом более поздних данных, что не входит в нашу задачу.

Немногочисленные данные, полученные на собаках, исключительно важны уже потому, что они свидетельствуют об удобстве и эффективности разработанных методик с применением парных объемных инверсионных-безынверсионных тест-объектов. Однако продолжение подобных опытов до получения необходимой для анализа достаточно большой совокупности данных требует редкого энтузиазма в связи с трудозатратами на весь процесс обучения собак и “многосерийной” регулярной работы с ними; информации о других исследованиях такого плана мы не нашли.

#### ПОВТОРНОЕ ИЗОБРЕТЕНИЕ Л.Н. МОГИЛЕВЫМ АВТОСТЕРЕОГРАММ

*Исследование Л.Н. Могилевым пространственных эффектов, возникающих при восприятии повторяющихся изображений в условиях физиологического двоения*

Большое внимание было уделено Л.Н. Могилевым исследованию пространственных эффек-

тов, которые можно наблюдать при рассматривании зрительных стимулов, имеющих вид горизонтальных рядов повторяющихся плоских изображений с определенными параметрами, в специальных условиях восприятия, называемых условиями *физиологического двоения*. Этот термин подчеркивает, что такое двоение возникает в отсутствие реального *оптического (физического) двоения* проекций одиночных объектов на сетчатках глаз. Физиологическое двоение достигается благодаря специальному приему наблюдения, основанному на дополнительном разведении или сведении зрительных осей двух глаз по отношению к нормальным условиям рассматривания. В таких условиях левое и правое сетчаточные изображения сдвигаются в разные стороны, нарушая условия нормальной бинокулярной фузии, из-за чего видимое изображение двоится: человек начинает одновременно видеть отдельные образы, относящиеся к левому и правому глазу – два монокулярных образа. Однако благодаря периодичности стимула при надлежащем разведе-

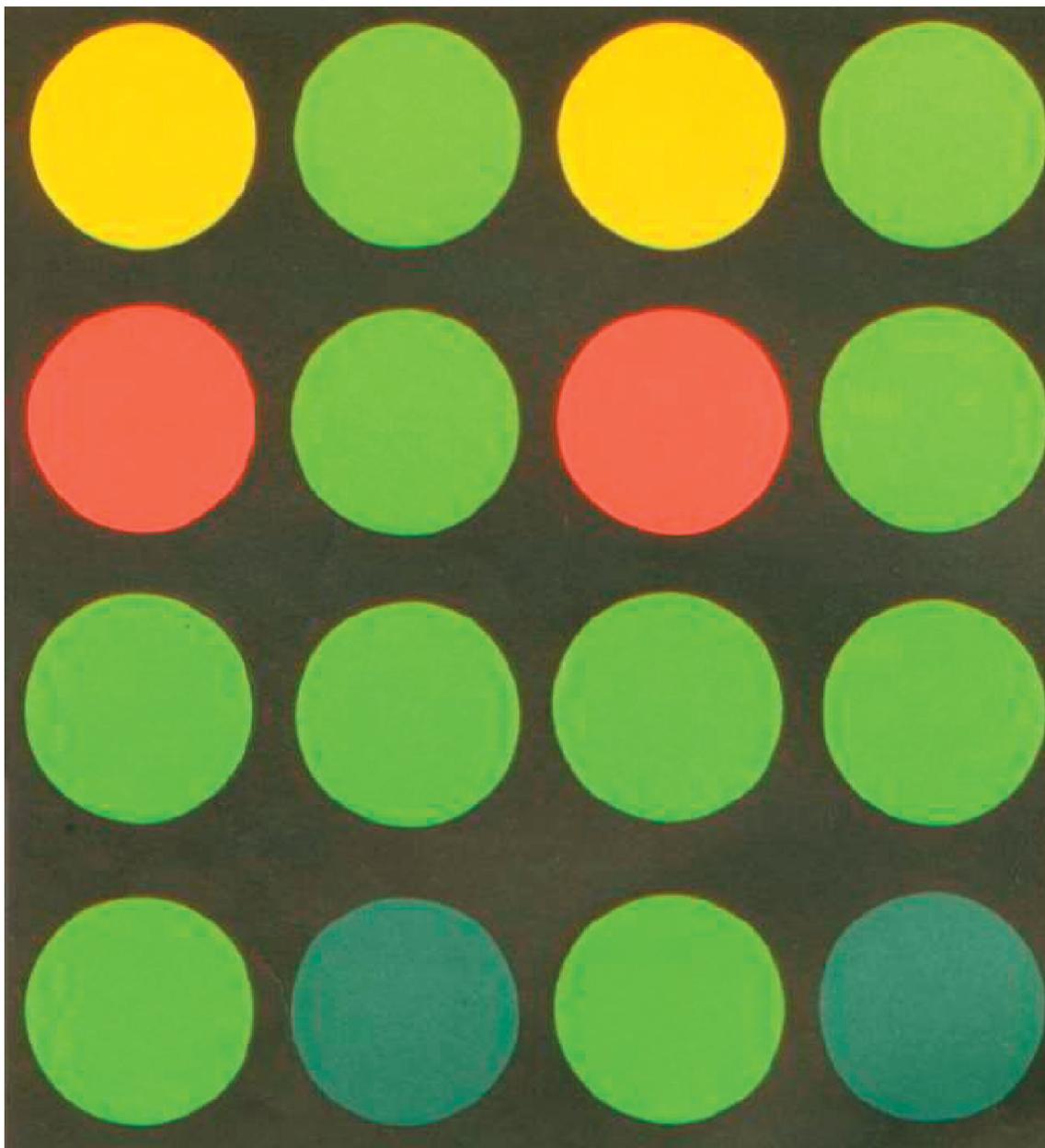
нии/сведении зрительных осей удастся объединять и фузировать фрагменты левого и правого изображений, сдвинутые на период или несколько периодов, так как они оказываются в фузионных зонах бинокулярных механизмов восприятия. Конечно, такая фузия отличается от нормальной, так как имеет место “подмена”, но благодаря использованию периодичности (обеспечивающей идентичность или близкое соответствие фузируемых стимула) формирующиеся образы могут быть достаточно устойчивыми.

Первое сообщение на данную тему было опубликовано Л.Н. Могилевым в 1961 г. в сборнике докладов второй научной конференции физиологов, биохимиков и фармакологов Западно-Сибирского объединения, посвященной XXII съезду КПСС (г. Томск) и называлось “О пространственном зрительном эффекте при повторяющемся изображении” (Могилев, 1961). В этой публикации описаны основные типы повторяющихся изображений и эффекты, которые в дальнейшем фигурируют в других работах автора. Они представлены здесь в обобщающей таблице (табл. 1),

**Таблица 1.** Описание зрительных стимулов, использованных в одной из первых работ Л.Н. Могилева, посвященных автостереограммам, и краткое перечисление наблюдавшихся в эксперименте эффектов\*

1	Изображение	4 кружка диаметром 4 см. Кружки 1 и 3 наполовину заштрихованы слева, кружки 2 и 4 – справа.
1a	Образ	При раздвоении изображения на расстояние, равное диаметру кружка, образ – 5 более крупных и более удаленных кружков. Крайние кружки заштрихованы наполовину, средние три – полностью. При раздвоении на два диаметра, образ – 6 кружков со штриховкой, чередующейся как на оригинальном изображении.
2	Изображение	4 кружка диаметром 4 см. Кружки 1 и 3 – желтого цвета, кружки 2 и 4 – зеленого.
2a	Образ	При раздвоении изображения на расстояние, равное диаметру кружка, образ – 5 кружков. Левый кружок – желтый, правый – зеленый, средние три – промежуточного бледно-зеленого цвета. При раздвоении на два диаметра, образ – 6 кружков чередующегося цвета.
3	Изображение	4 кружка диаметром 4 см. Кружки 1 и 3 – красного цвета, кружки 2 и 4 – синего.
3a	Образ	При раздвоении изображения на расстояние, равное диаметру кружка, образ – 5 кружков. Левый кружок – красный, правый – синий, средние три – попеременно то красного, то синего цвета (борьба полей зрения).
4	Изображение	4 кружка диаметром 4 см. Кружки 1 и 3 – красного цвета, кружки 2 и 4 – зеленого. Красные кружки изображены на зеленом фоне, зеленые – на красном.
4a	Образ	При раздвоении изображения на расстояние, равное диаметру кружка, возникают следующие варианты средних кружков: красные кружки на зеленом фоне, зеленые – на красном, красные – на красном, зеленые – на зеленом.
5	Изображение	4 кружка одинакового цвета. Расстояние между кружками 2 и 3 больше, чем расстояния между кружками 1 и 2 и кружками 3 и 4.
5a	Образ	При раздвоении изображения на расстояние, равное диаметру кружка, средний кружок видится как более крупный и более удаленный, чем остальные.
6	Изображение	Изображения расположены в два ряда. Расстояния между кружками в верхнем ряду отличаются от расстояний между кружками в нижнем ряду.
6a	Образ	Один из рядов воспринимается на другом расстоянии.

\*По экспериментальным данным можно сделать вывод, что стимулы рассматривались при “разведенных” зрительных осях. Расстояние наблюдения автор в работе не уточняет.



**Рис. 7.** Изображение с повторяющимися элементами с форзаца монографии (Могилев, 1982), предназначенное для демонстрации эффекта фузии элементов, различающихся по цветовому тону и цветовой насыщенности.

составленной на основе цитирования авторского текста (Могилев, 1961, с. 95–96).

Как видно из приведенного описания, “повторяющиеся” фрагменты тестовых изображений были в цитируемой работе не всегда и не во всех отношениях идентичными. Компоненты, составляющие ряды, могли различаться по текстуре (№ 1), цвету (№№ 2,3), фону (№ 4). Расстояния между ними тоже специально варьировались (№№ 5, 6). Благодаря этим намеренно вводимым различиям Могилев с коллегами изучали различные характеристики и аспекты бинокулярного восприятия:

предельно допустимые для механизмов фузии расхождения, бинокулярное смещение цветов, проявления бинокулярной конкуренции, закономерности восприятия глубины на основе диспаратности.

Поскольку в цитируемом кратком сообщении Могилева не было иллюстраций, ниже приведены рисунки (рис. 7–9) из его монографии (раздел “Способы получения пространственных зрительных эффектов при сдвигании изображений, построенных по принципу регулярности”, Могилев, 1982, с. 62–74), которые демонстрируют и

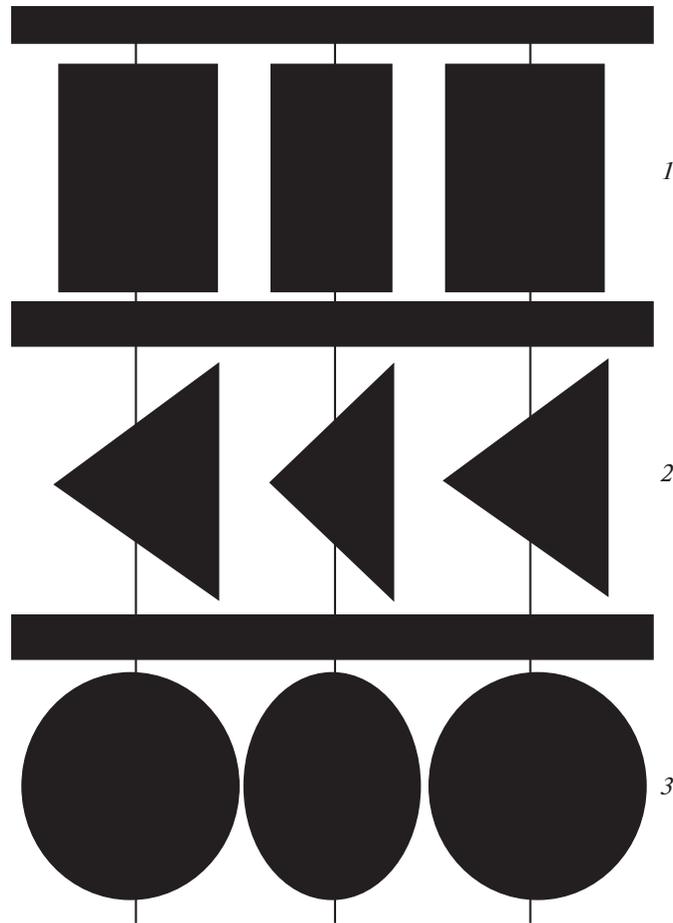


Рис. 8. Изображение из монографии (Могилев, 1982, стр. 69). Демонстрируется эффект поворота фигур при фузирова-нии соседних элементов в каждом горизонтальном ряду.

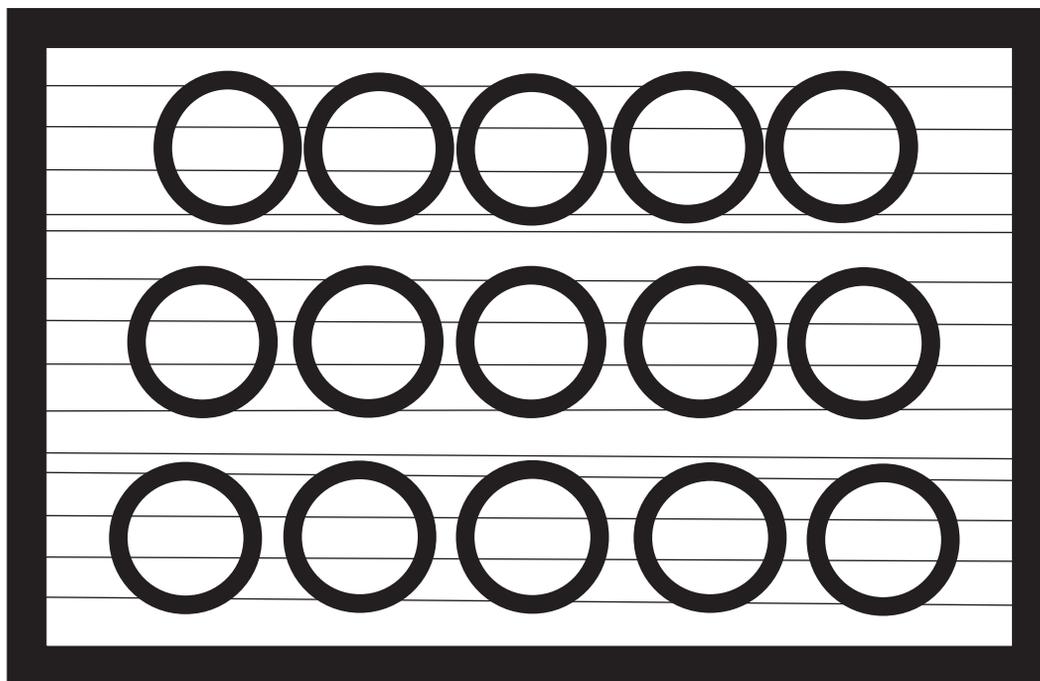
часть вышеописанных эффектов, и новые возможности получения пространственных и цветовых трансформаций.

Если использовать современную терминологию, то изучавшиеся Л.Н. Могилевым изображения следует считать *дискретными автостереограммами*. Сейчас термин *автостереограмма* (АСГ) употребляют в отношении различных квазипериодических плоских изображений, содержащих повторяющиеся по горизонтали (образующие горизонтальный ряд) вертикальные столбцы из идентичных или почти идентичных изображений. При этом столбцы могут содержать как отдельные фигуры (дискретные АСГ), так и непрерывные сложные паттерны (непрерывные АСГ), где схожесть между столбцами может закономерно меняться. Если в дискретных АСГ наблюдатель видит ряды объемных или трансформированных, но всегда отдельных фигурок, то в непрерывных АСГ на всей площади может быть закодирован один крупный объект сложной формы или целая композиция с объектами разного

типа. Очевидно, что для получения непрерывных АСГ требуются более сложные алгоритмы.

Большинству читателей АСГ могут быть знакомы по развлекательным книгам и интернет-сайтам с наборами таких изображений, при надлежащем рассматривании которых могут возникать пространственные композиции или “реалистичные” сцены большой сложности и тонкой структуры с цветовыми эффектами, включающими бинокулярный блеск. История изобретения и усложнения АСГ разными авторами кратко изложена далее, но заранее уместно отметить, что спустя небольшое время после первой публикации Л.Н. Могилев опубликовал изображения, которые уже нельзя считать дискретными и нужно отнести к переходному типу. Пример такого изображения из статьи (Могилев, 1963) показан на рис. 10.

В дальнейшем Могилев практически не занимался усложнением АСГ, переключившись на количественную оценку пространственных эффектов, возникающих при их наблюдении, и тем самым отошел от наметившегося в остальном на-



**Рис. 9.** Изображение из монографии (Могилев, 1982, стр. 72). Автор подчеркивает, что в получающейся при фузирвании многоплоскостной картине наблюдается эффект подчинения (“привязки по глубине”) одних элементов (линий) другим (кольцам).

учном сообществе главного пути совершенствования АСГ — создания сложных тонкоструктурных изображений с протяженными объектами, занимающими несколько периодов (“непрерывных” АСГ). На рис. 11 представлен пример непрерывной АСГ, в которой при обычном рассматривании невозможно различить закодированную фигуру (акулу), а при надлежащем разведении зрительных осей она отчетливо видна. Отличие таких непрерывных АСГ от дискретных АСГ Могилева, на которых отдельные компоненты всегда различимы и при обычном рассматривании, очевидно.

В своих работах Л.Н. Могилев отмечал, что важным преимуществом АСГ является возможность наблюдать их без специальных оптических устройств. Однако, что касается использования АСГ в лабораторных экспериментах и офтальмологической практике для оценки и тренировки механизмов пространственного зрения, то оно ограничивается трудностями, возникающими из-за специфических условий наблюдения тест-объектов и особенностей непривычного режима работы всего комплекса систем (сенсорной, аккомодационной и глазодвигательной), обеспечивающих процесс зрения. Эти факторы заставляют предполагать, что АСГ больше годятся для экспертной работы с людьми, профессии которых требуют отличных и гибких зрительных способностей, а также для тренировки зрения таких людей. В некоторых случаях АСГ могут также ис-

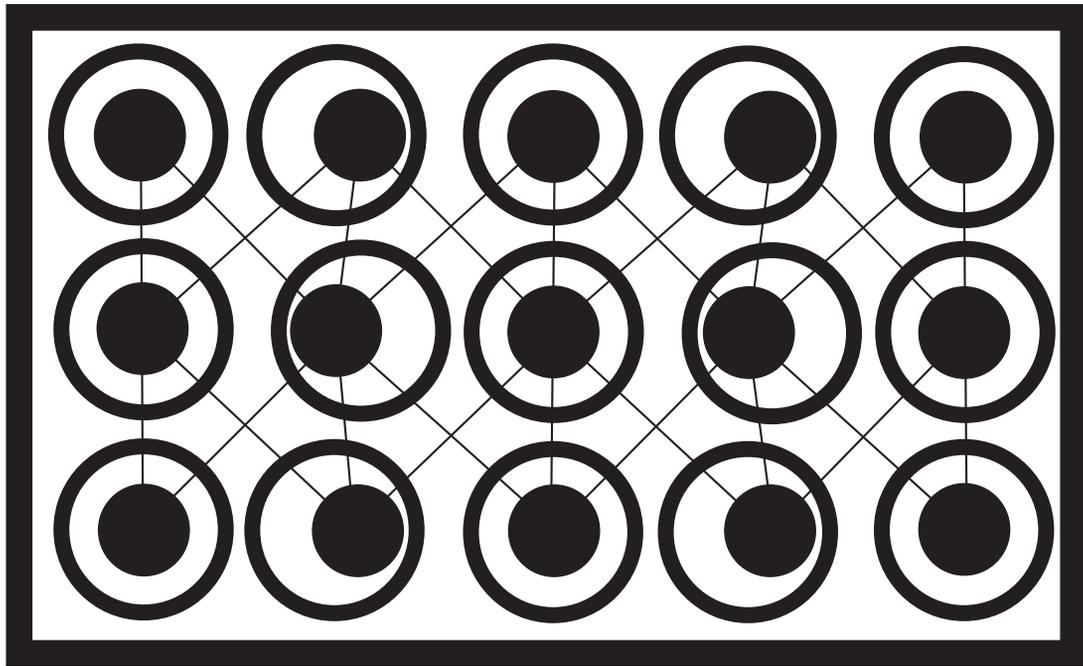
пользоваться на заключительных этапах восстановления нарушенных бинокулярных зрительных функций у пациентов, но методики для такого функционального лечения пока не разработаны.

#### *Место изображений, созданных Л.Н. Могилевым в истории развития работ по АСГ*

Чтобы “привязать” АСГ Могилева к хронологической последовательности изобретений этого типа, напомним кратко историю развития наблюдений и идей.

Эффект, при котором повторяющийся паттерн при изменении угла конвергенции воспринимается как находящийся ближе или дальше реального изображения, в литературе часто называется “иллюзией обоев” (“wallpaper illusion”). Иллюзия обоев впервые была описана в 1738 г. Смитом (Smith, 1738, цит. по Howard, Rogers, 2012), и в дальнейшем исследовалась рядом ученых (Goethe, 1810; Meyer, 1852; Brewster, 1844a, b; Locke, 1849), что отражено на приведенной ниже хронологической схеме (рис. 12). Сам термин “иллюзия обоев”, похоже, впервые был введен Брюстером.

Наблюдения иллюзии обоев естественным образом ставят вопрос о вкладе вергенции глаз (т.е. угла между зрительными осями) и диспаратности (различий в проекциях зрительной сцены на сетчатках левого и правого глаз) в воспринимаемое расстояние до объекта. Еще в первых работах бы-



**Рис. 10.** Автостереограмма промежуточного типа (между дискретным и непрерывным). Изображение взято из статьи (Могилев, 1963).

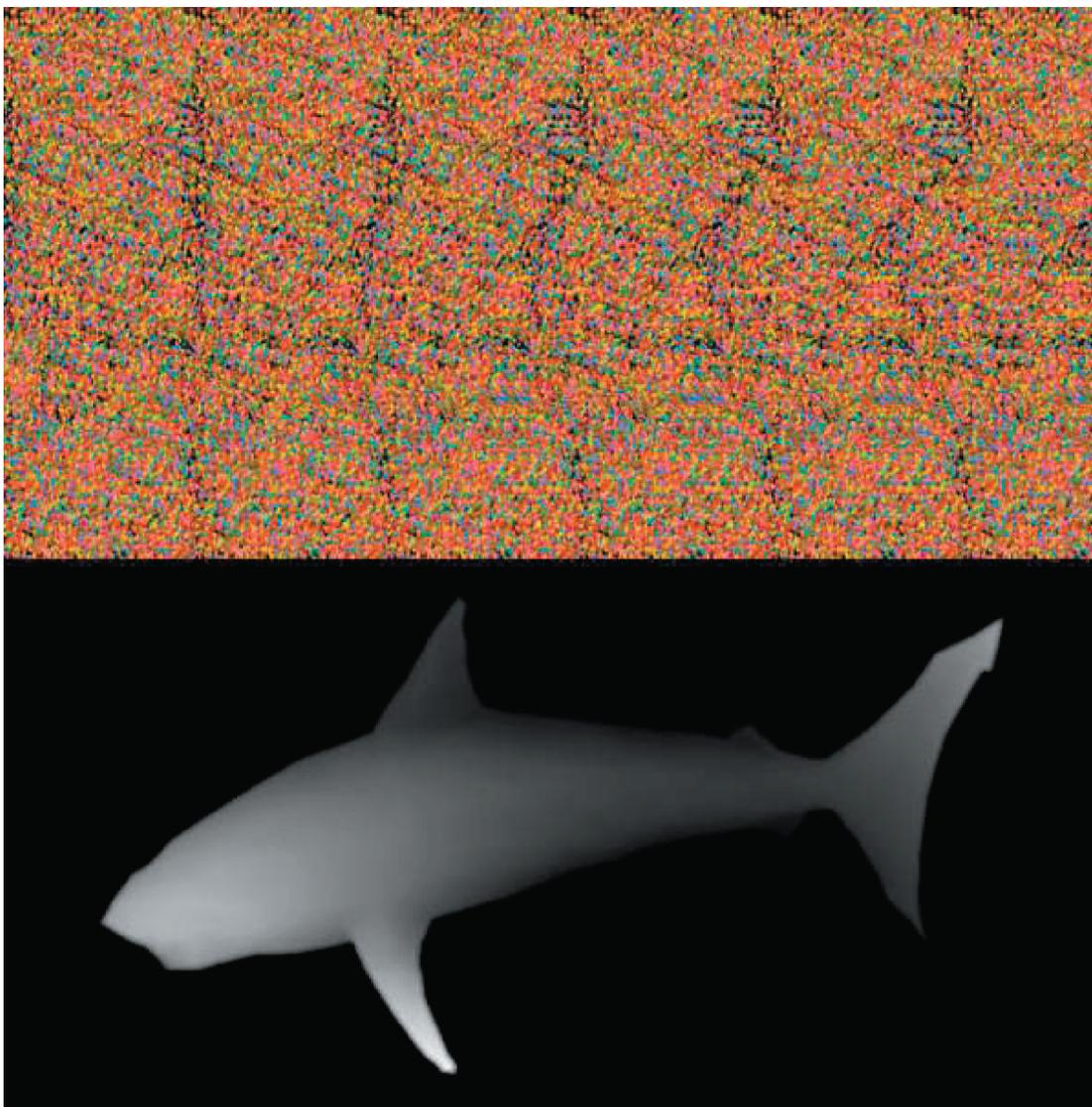
ло отмечено, что при рассматривании паттерна на скрещенных зрительных осях (перекрещивающихся перед плоскостью изображения) элементы паттерна обоев кажутся более близко расположенными и несколько меньшего размера, а при наблюдении паттерна на разведенных осях (перекрещивающихся за плоскостью изображения) элементы паттерна воспринимаются как более удаленные и большего размера. В первых попытках описать изменения воспринимаемого расстояния исследователи связывали возникающие пространственные эффекты с состоянием вергентной системы: оси глаз, перекрещенные ближе плоскости фиксации, как будто фиксируют более близкий виртуальный объект; оси глаз, перекрещенные за плоскостью изображения, наоборот, как будто фиксируют более далекий объект. В дальнейшем было показано, что различие в воспринимаемом расстоянии может быть задано и диспаратностью, и АСГ неоднократно использовались для исследования вопроса о вкладе в объемный образ вергенции и диспаратности (Ono et al., 1971; Logvinenko, Belopolskii, 1994; Logvinenko et al., 2001).

После нескольких довольно подробных работ в 1840-х годах, исследования иллюзии обоев на некоторое время приостановились вплоть до второй половины XX века (рис. 12). Могилев стал одним из первых авторов, вновь открывших АСГ после перерыва (Могилев, 1961; 1963) и начавших

исследования зрительных механизмов с их использованием. За рубежом работы Могилева долгое время оставались неизвестными, и первым, кто исследовал АСГ в XX веке, считался Pete Stephens (Рожкова, 2022a; Tyler, 2014; Sawada, Rozhkova, 2020).

Однако в период между публикациями, посвященными иллюзии обоев (Brewster, 1844; Meyer, 1952; Locke, 1849), и работами Могилева (Могилев, 1961, 1963) возникла другая ветвь исследований пространственного зрения, которая затем объединилась с ветвью АСГ: исследования случайно-точечных стереограмм (СТС – перевод английского термина “random-dot stereogram”, RDS). СТС – это пара изображений, предназначенных для левого и правого глаза, в каждом из которых по отдельности можно видеть только случайный набор точек, тогда как их фузирование дает возможность увидеть объемный образ, закодированный только диспаратностью – относительным смещением точек в левом и правом изображениях.

Долгое время считалось, что для восприятия объемной формы предмета зрительная система должна сначала опознать объект в каждом глазу отдельно. Однако еще в 1901 г. Сантьяго Рамон-и-Кахаль описал механизм создания “закомфлированного” по принципу СТС изображения (Ramon y Cajal, 1901; Bergua, Skrandies, 2000). Однако он описал свое открытие только как крипто-



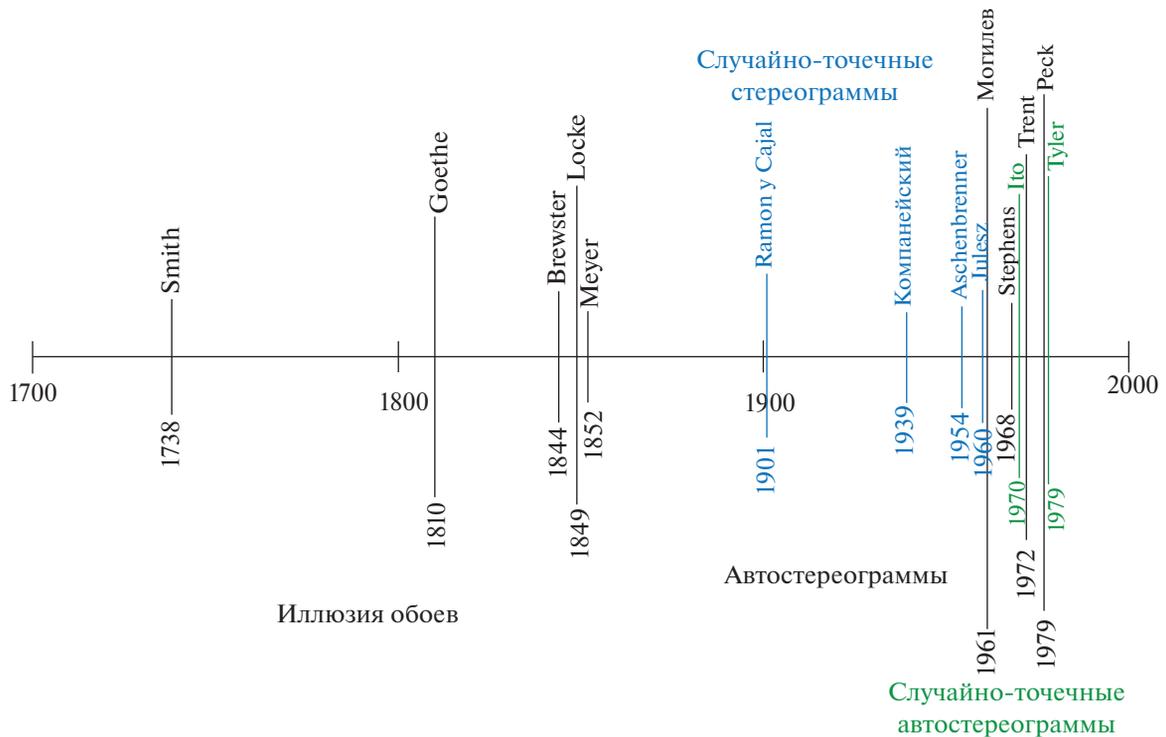
**Рис. 11.** Пример непрерывной АСГ с закодированным на всей ее площади объемным образом акулы (верхняя часть рисунка). АСГ состоит из похожих вертикальных компонентов (периодов), которые, однако, несколько отличаются друг от друга и не позволяют узнать закодированный объект. На нижней части рисунка представлена карта глубины для кодирования образа акулы.

Источник иллюстрации: Fred Hsu, March 2005., Wikimedia Commons, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stereogram\\_Tut\\_Random\\_Dot\\_Shark.png#/media/File:Autostereogram.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stereogram_Tut_Random_Dot_Shark.png#/media/File:Autostereogram.png)

графический метод, не обсуждая при этом особенности бинокулярного зрения. Чуть позже, в 1939 г. Б.Н. Компанейский и в 1954 г. К. Ашенбреннер (Aschenbrenner, 1954) оба опубликовали случайно-точечные стереограммы, полученные разными способами. Но только начиная с 1960 г. в работах Б. Юлеша случайно-точечные стереограммы были подробно рассмотрены как средство для исследования взаимодействия различных механизмов зрительной системы человека (Julesz, 1960; 1964; 1971). Работы Б. Юлеша дали еще одно основание полагать, что зрительная си-

стема человека состоит из многих различных модулей, функционирующих независимо. Более подробный обзор истории создания и использования в зрительной науке случайно-точечных стереограмм можно найти в работах (Рожкова, 2022б; Howard, Rogers, 2012, раздел 24.1.5).

Довольно скоро после работ Б. Юлеша появились первые АСГ, состоящие из случайно-точечных паттернов: до этого АСГ чаще всего создавали из монокулярно узнаваемых объектов, и только их пространственное расположение менялось при рассматривании АСГ с измененным углом



**Рис. 12.** Хронологическая схема появления основных работ по созданию и совершенствованию АСГ. Голубым цветом выделены основополагающие публикации по случайно-точечным стереограммам. Зеленым цветом выделены основополагающие публикации, объединяющие в себе принцип случайно-точечных стереограмм и “иллюзию обоев” – случайно-точечные автостереограммы (SIRDS: single image random-dot stereogram).

вергенции. Первую известную случайно-точечную АСГ создал вручную в 1970 г. Masuhiro Ito (Tyler, 2014), незадолго до появления работы (Peck, 1979). В 1979 г. К. Тайлер и М. Кларк разработали первый алгоритм, способный генерировать АСГ на основе задаваемой пользователем карты глубины желаемого трехмерного объекта или сцены (Tyler, Clarke, 1990; Tyler, 2014).

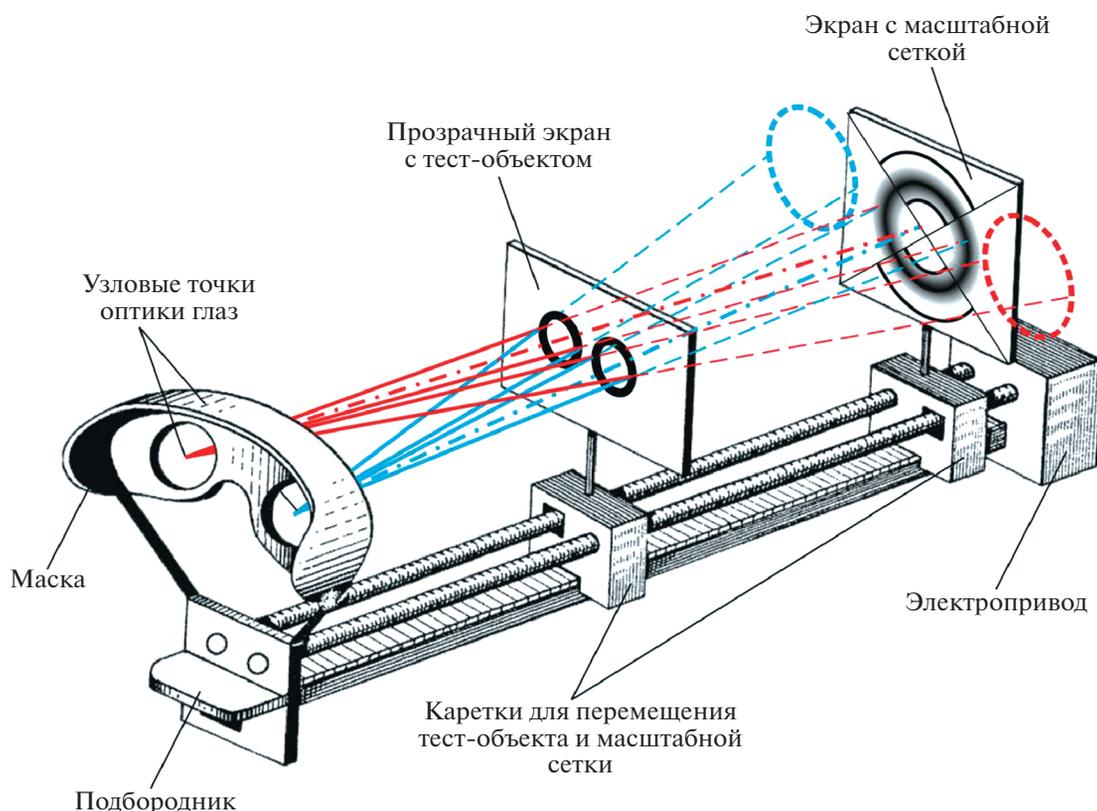
Очевидно, что по своему содержанию работы Л.Н. Могилева по АСГ находятся между работами Эдварда Трента (Trent, 1972) и Кристофера Тайлера (Tyler, Clarke, 1990 – статья об изобретении, фактически сделанном в 1979 г.), хотя хронологически Л.Н. Могилев опережал Э. Трента. Встречающиеся в работах Л.Н. Могилева АСГ всегда содержали монокулярно различимые объекты (не случайно-точечные паттерны).

При помощи тестовых стимулов типа АСГ Л.Н. Могилев исследовал как влияние разных составляющих зрительного процесса на формирование пространственного образа (в частности, вклад вергенции), так и явление бинокулярной конкуренции (борьбы полей зрения). Бинокулярная конкуренция и бинокулярная интеграция особенно интересовали Л.Н. Могилева: в его ра-

ботах много описаний специальных АСГ, подразумевающих фузирование объектов, которые различаются в левой и правой частях формирующейся стереограммы по цвету, яркости, размеру, форме, ориентации или составным элементам. Автор скрупулезно описывает получаемые при восприятии таких АСГ впечатления, подчеркивая при этом значение индивидуального опыта и тренированности наблюдателя (Могилев, 1982, с. 74).

## ИЗОБРЕТЕНИЕ БИНАРИМЕТРА

Л.Н. Могилев считал очень ценным, что АСГ дают возможность получать пространственные эффекты при наблюдении плоских тестовых изображений в условиях физиологического двоения без специальных вспомогательных технических средств для сепарации левой и правой частей стереопары. По мнению Могилева, открывалась возможность исследовать количественные и качественные характеристики пространственного зрения на плоских стимулах в условиях, приближенных к естественному восприятию. То обстоятельство, что при данной методике стереопары искусственно формируются не из соответствующ-



**Рис. 13.** Схема бинариметра из монографии (Могилев, 1982), дополненная изображением часто используемого тест-объекта (двух колец) и вспомогательными линиями, поясняющими формирование видимого образа в условиях физиологического двоения.

щих, а из соседних фрагментов зрительных стимулов с повторяющимися изображениями за счет подмены в результате специальных усилий для физиологического двоения и что видимые образы являются чисто умозрительными, не принимались во внимание. Хотя Могилев и отмечал в своей книге, что при массовых исследованиях нужно будет учитывать трудность сознательной настройки испытуемых на создание условий физиологического двоения, соответствующий прибор был разработан и сконструирован. В разработке прибора, названного бинариметром, принимали участие И.Т. Демченко и Б.В. Хрусталеvский. Несколько раз в прибор вносились усовершенствования, и в 1978 г. на него было получено авторское свидетельство (Могилев, 1978а).

Бинариметр — это механическое устройство, схема которого показана на рис. 13.

Основными частями этого устройства являются маска и подбородник для фиксации головы испытуемого и две подвижные каретки с электрическими приводами, предназначенные для крепления и перемещения рамки с тестовыми изображениями и экрана с масштабной сеткой. Каретки

можно перемещать по направлению к испытуемому или от него по соответствующим направляющим. Вспомогательные технические детали устройства — шасси и электроприводы для перемещения кареток, осветитель для равномерного освещения экрана с масштабной сеткой. Подчеркивается, что для наблюдения тестовых изображений прибор не содержит никакой дополнительной оптики.

За основу приведенной здесь схемы взяты рисунки из монографии (Могилев, 1982, рис. 41) и авторского свидетельства (Могилев, 1978а). К исходному чертежу нами добавлены изображения часто используемых тест-объектов — колец — и обозначения воспринимаемых образов, а также цветные линии, иллюстрирующие ход лучей от тест-объектов в левый и правый глаз и формирование виртуального бинокулярного образа (увеличенное размытое серое кольцо) на экране в плоскости позади стимула, с которой совмещена плоскость масштабной сетки. Слева и справа от бинокулярного образа показаны воспринимаемые одновременно с ним монокулярные образы, которые могут быть видны на том же расстоянии,

что и бинокулярный образ, или на ином, поскольку зрительная система не получает информации для однозначного определения данного расстояния. На приведенной схеме монокулярные образы показаны цветными штриховыми линиями на той же глубине, что и бинокулярный образ. Для пояснения работы с бинариметром приведем соответствующую цитату из монографии Могилева (Могилев, 1982, с.75), сделав для сокращения описания несколько незначительных купюр.<sup>1</sup>

“Тестовое изображение, обычно состоящее из расположенных на одной горизонтали *совместимых элементов*, наносится на прозрачную поверхность (на стекло или плексиглас), что позволяет сквозь него видеть экран с масштабной сеткой). Центр масштабной сетки и элементы тестового изображения находятся на уровне глаз испытуемого. Маска несколько ограничивает бинокулярное поле зрения, но не разделяет его.

Испытуемого усаживают перед прибором и фиксируют его голову при помощи маски и подбородника. Определяется нормальный стереоскопический базис. Экспериментатор может предварительно рассчитать расстояние до *мнимого изображения* и размеры его фигур. Обычно используется изображение из двух элементов — черных колец одинакового диаметра. Оно устанавливается на заданном расстоянии путем перемещения каретки для тест-объекта. Экран с масштабной сеткой путем перемещения другой каретки устанавливается на расстоянии, несколько большем или же несколько меньшем, чем расчетное расстояние до *мнимого изображения*. Эти манипуляции производятся до того, как испытуемого усадят за прибор.

Испытуемому предлагается сконцентрировать взгляд на центре масштабной сетки, что обеспечит соответствующее положение точки бификсации. При таком условии произойдут перекрестное двоение фигур тестового изображения и слияние *половинчатых элементов*. Предлагается, ориентируясь по среднему (*полному*) элементу мнимого изображения, определить его удаление по отношению к масштабной сетке, а затем, управляя движением каретки, совместить плос-

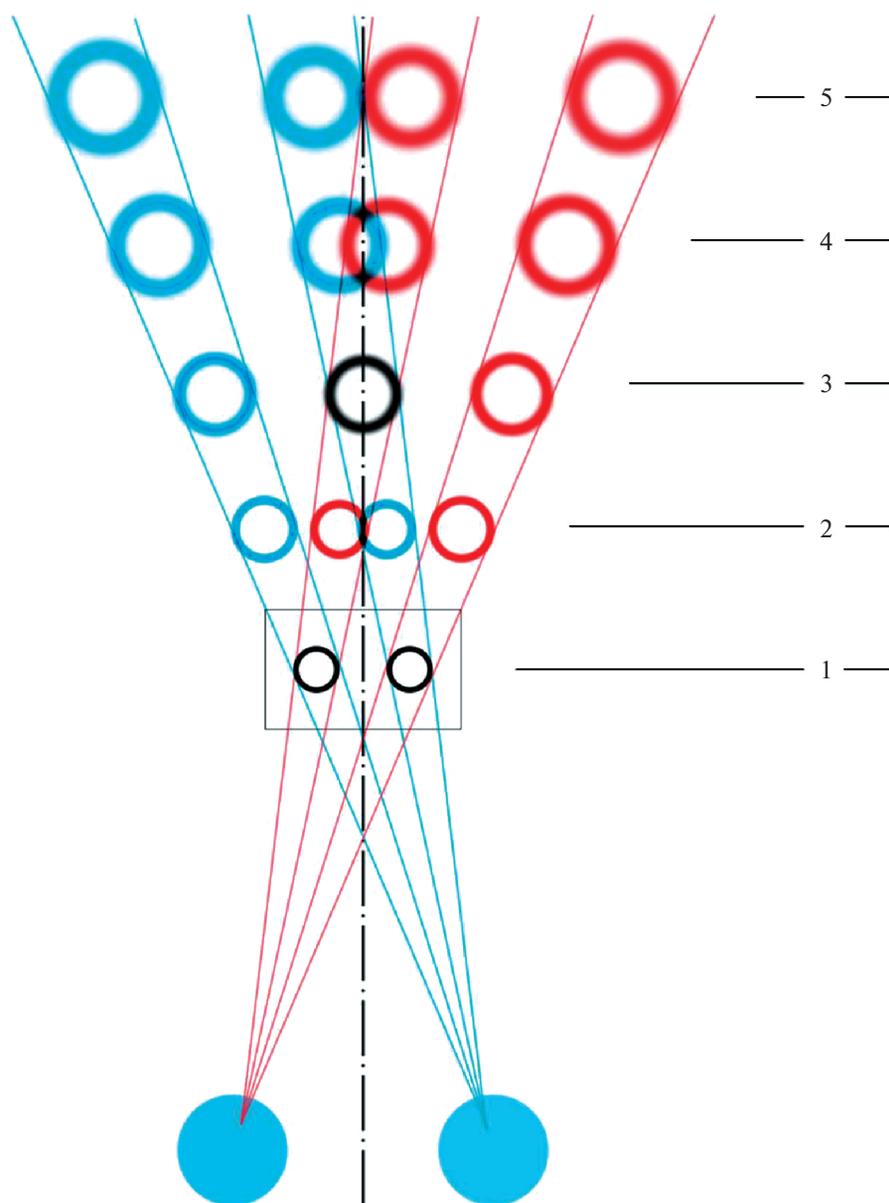
кость масштабной сетки с плоскостью изображения. После этого испытуемый по сетке определяет размер элемента мнимого изображения, а экспериментатор по шкале, расположенной на шасси, определяет расстояние от глаз испытуемого до мнимого изображения и сверяет его с расчетным.”

Приведенная цитата относится к случаю, когда тестовое изображение находится на неизменном заданном расстоянии, а испытуемый в процессе измерений варьирует расстояние до масштабной сетки. Однако возможен и другой вариант работы, когда масштабная сетка закреплена, а испытуемый передвигает каретку с тестовым изображением. Для проведения различных измерений к бинариметру сделаны специальные приставки, например — раздвижная приставка, позволяющая изменять расстояние между центрами элементов тестового изображения, и приставка с поворачивающейся масштабной сеткой для оценки углов поворота и наклона видимых образов при варьировании параметров тестовых изображений.

Из схемы рис. 13 можно заключить, что условия наблюдения на бинариметре соответствуют давно применяемому исследователями стереоскопического зрения приему фузирования левого и правого компонентов стереопары (напечатанной или сгенерированной на дисплее) без вспомогательных приспособлений (*free fusion*) за счет искусственно вызванного наложения левого и правого изображений в видимом пространстве путем сознательного разведения (сведения) осей глаз от положения фиксации взора на тест-объекте, к более удаленной (или близкой) точке. При таких вергентных движениях сетчаточные изображения стереопары смещаются в левом и правом глазу к периферии поля зрения в противоположных направлениях, и в какой-то момент в центральных областях обеих сетчаток оказываются фузируемые компоненты “стереопары” (проекция левого компонента на зрительной оси правого глаза + проекция правого компонента на зрительной оси левого глаза — при разведении зрительных осей; проекция правого изображения на зрительной оси правого глаза + проекция левого изображения на зрительной оси левого глаза — при сведении осей). На поясняющем рис. 14 для случая разведения осей схематически показано, как меняется видимый образ при переводе взгляда вдаль с уровня 1, соответствующего позиции тест-объекта, на более далекие уровни 2—5.

Основное правило успешного “свободного” фузирования левого и правого изображений стереопары, напечатанной в виде рядом расположенных левого и правого кадров, состоит в отказе от “нормального” угла конвергенции глаз, обеспечивающего обычное рассматривание страницы и восприятие двух компонентов стереопары в

<sup>1</sup> Цитата содержит авторские термины, смысл которых следующий: *совместимые элементы* — фигуры, которые могут быть сфузированы, порождая единый образ; *половинчатые элементы* — элементы изображений, относящиеся только к левому или правому глазу; *истинное изображение* — предьявляемое тестовое изображение (тест-объект, зрительный стимул); *мнимое изображение* — весь видимый образ, сформировавшийся при наблюдении тестовых фигур; *полный элемент мнимого изображения* — элемент, соответствующий фузии двух фигур — левой и правой; *половинчатый элемент мнимого изображения* — монокулярно воспринимаемый элемент видимого образа, определяемый одним из сетчаточных изображений.



**Рис. 14.** Иллюстрация изменений видимого образа при разведении зрительных осей для перевода взгляда вдаль за плоскость, в которой предъявляется тест-объект (два кольца).

Цифрами 1; 2; 3; 4; 5 обозначены уровни глубины, соответствующие положениям взгляда, для которых показаны изображенные рядом видимые образы.

центре поля зрения на уровне точки пересечения зрительных осей. Наблюдателю предлагается развести или свести глаза, как бы желая рассмотреть точку позади страницы (экрана монитора) или перед ней. При этом видимый нормальный бинокулярный образ стереопары раздвоится – распадется на два монокулярных, которые разъедутся в стороны на расстояние, зависящее от положения осей глаз при новой точке фиксации взгляда.

Несмотря на кажущуюся простоту процедуры, для понимания физиологической сути измере-

ний на бинариметре и поясняющей ее схемы нужно учесть целый ряд обстоятельств.

– Изначально в условиях нормальной фузии испытуемый фактически видит бинокулярный плоский образ двух колец на прозрачном плоском экране (что соответствует реальной ситуации), но потенциально эти два кольца могут играть роль стереопары.

– Когда человек разводит глаза, и ось левого глаза уходит влево, в поле зрения левого глаза центр тестового изображения уходит в правую

половину поля зрения (с правым глазом ситуация симметричная).

– С увеличением отклонения от нормальных условий бификсации при разведении зрительных осей происходит потеря нормальной фузии и возникает двоение, т.е. человек имеет как бы двойное монокулярное зрение (называемое одновременным). Воспринимаемый образ должен определяться объединением левого и правого монокулярных образов, причем мозгу нужно сформировать такую видимую картину, в которой образы, воспринимаемые левым глазом, окажутся правее, а воспринимаемые правым глазом – левее центра поля зрения.

– В этих условиях зрительные мозговые механизмы совмещают направления зрительных осей левого и правого глаза (или вычисляют среднее направление) и считая, что это середина видимого поля зрения, “размещают” левые и правые образы соответственно.

– Схема отражает отчетливо видимую, но явно иллюзорную картину с двумя разъезжающимися в стороны “стереопарами” (сильно отличающаяся от реальности, в которой единственная пара объектов стоит на месте в центре поля зрения). При определенной степени разведения зрительных осей (на схеме рис. 14 это уровень фиксации взора № 3) в бинокулярной системе происходит наложение проекций разных колец из левого и правого изображений и создаются условия для их фузирования.

По инструкции, разводить (сводить) глаза нужно именно до такой позиции, чтобы левый и правый монокулярные образы стереопары частично перекрылись в бинокулярном поле зрения, имитируя в области наложения нормальное сепарированное наблюдение. Очевидно, что это возможно при двух позициях осей глаз: когда “левоглазая” левая половина стереопары накладывается на “правоглазую” правую половину, и наоборот. Иными словами, оси глаз должны быть избыточно разведены или сведены на конкретный угол. Однако не каждый испытуемый с нормальным бинокулярным зрением, а тем более – пациент с нарушениями бинокулярных механизмов, может быстро освоить такую методику рассматривания данных тестов. Как известно, более универсальный способ – это наблюдение стереопар с использованием стереоскопа или разделителя полей зрения, которые обеспечивают сепарацию левого и правого изображений при помощи центральной перегородки или оптики, не позволяющих видеть вторую половину стереопары. Различные конструкции таких приборов начали создаваться с первой половины 19 века, и до последнего времени предлагаются все новые модификации. Их преимущество в том, что они не требуют специальных усилий и отказа от нор-

мальной согласованной работы всех зрительных механизмов для наблюдения бинокулярных образов.

*В чем достоинства и недостатки бинариметра Могилева как варианта устройства для free fusion?*

– Замечательна идея Могилева использовать прозрачный экран и масштабную сетку. Это облегчает перевод взгляда вдаль за плоскость, где расположен тест-объект, и удобно для наблюдения и количественного анализа формирующихся образов.

– Однако о “естественности” условий наблюдения говорить неправомерно, так как формирование бинокулярного образа происходит в очень непривычных условиях, и этот образ не соотносится с телесной реальностью в том месте, куда направлен взгляд, являясь продуктом, зависящим от усилий испытуемого.

– Правильная интерпретация количественных данных и выводов требует точной информации об оптике глаз каждого испытуемого, сохранения стабильной позиции испытуемого для исключения необходимости дополнительных настроек в течение длительных процедур, участия квалифицированного медперсонала.

Приведем пример из монографии Могилева, показывающий, что даже в самых простых случаях “точные данные”, полученные при помощи бинариметра, могут оказаться сомнительными и приводить к неверным заключениям. Это описание экспериментов по определению расстояний до мнимых плоскостных изображений и размеров их элементов (Могилев, 1982, с. 77–78). В эксперименте измеряли расстояния до мнимого изображения ( $L$ ) при разных значениях расстояния от глаз до тестового изображения, состоящего из двух идентичных колец, расстояние между которыми по горизонтали  $p$  варьировали. Теоретически предсказываемое расстояние до видимого бинокулярного образа рассчитывали на основании значений “нормального стереоскопического базиса”  $l$ , который офтальмологи определяют по расстоянию между центрами зрачков при параллельности зрительных осей. Однако в действительности расстояние между зрачками скорее отражает взаимное расположение оптических, а не зрительных осей и не соответствует реальному стереоскопическому базису. Если сравнивать систему двух глаз с оптическим дальномером, то для точного определения стереоскопического базиса этой системы нужно учитывать многие детали ее сложной оптико-механической конструкции. Несовпадение зрительной и оптической осей – это только один осложняющий момент. Как минимум, нужно еще учитывать несовпадение центра поворотов глаза с его геометрическим цен-

тром и наличие двух узловых точек оптики (даже в упрощенной схеме глаза).

Один из выводов, сделанных на основе проведенных измерений, был следующим: “экспериментально установлено, что ощущаемое расстояние до мнимого изображения всегда меньше рассчитанного..., причем эта разница возрастает по мере увеличения  $p$ . При приближении отношения  $p/l$  к 1 расстояние до мнимого изображения стремится к бесконечности. В действительности же при  $p = l$  и даже при  $p/l > 1$  мнимое изображение видится на вполне определенном расстоянии... Исходя из расстояния до мнимого изображения, можно рассчитать угол конвергенции зрительных осей. Действительный угол конвергенции всегда будет больше рассчитанного, а разница между этими углами будет возрастать при увеличении отношения  $p/l$ .”

В тексте книги приводятся умоглядные соображения по поводу этих озадачивающих фактов, но их легко понять, если учесть имеющиеся данные о величине угла между зрительной и оптической осью глаза. У большинства людей направление зрительной оси каждого глаза в пространстве несколько отклонено от направления оптической оси в сторону носа, так что зрительные оси пересекаются ближе к лицу, чем оптические. Это обстоятельство на качественном уровне объясняет обсуждаемые результаты без привлечения гипотетических механизмов анализа параметров формирующихся образов. Что касается количественных оценок, то для их обсуждения не хватает необходимых данных. Очевидно, что получаемые экспериментальные данные должны варьировать в соответствии с индивидуальными значениями углов между зрительными и оптическими осями. Кстати, можно высказать предположение, что описанные в выводах закономерности соблюдались не всегда, поскольку встречаются люди и с противоположным направлением отклонения зрительной оси от оптической (по отношению к указанному выше типичному отклонению).

Энтузиасты использования бинариметра в офтальмологии даже создали отдельное направление в диагностике и функциональном лечении бинокулярных расстройств, описанное в монографии “Теоретическая и клиническая бинариметрия” (Бачалдина и др., 2006). У этого прибора действительно есть свои специфические достоинства. Однако мы не нашли явных оснований для того, чтобы отдавать бинариметру предпочтительное перед другими приборами с аналогичными возможностями или перед интерактивными компьютерными программами с имитацией как существовавших ранее диагностических и лечебных приборных процедур, так и новых, которые невозможно было реализовать без использования

современной компьютерной техники и стереотехнологий. Естественно думать, что у каждого прибора и метода есть своя область рационального применения, и нужно это учитывать. Более того, совершенно очевидно, что со временем сравнительная ценность разных средств не может не меняться в соответствии с очередными научными открытиями и техническим прогрессом.

#### Заключительные замечания

Ретроспективный анализ разноплановых научных работ Л.Н. Могилева по исследованию механизмов пространственного зрения показывает, что их уровень соответствовал уровню исследований, проводимых за рубежом, как в теоретическом плане, так и в отношении методологии экспериментов и практического применения полученных результатов. Конкретные достижения и их значение для формирования адекватного представления о структурно-функциональной системе пространственного зрения человека отмечены в каждом разделе статьи.

К сожалению, многие работы Л.Н. Могилева прерывались в фазе развития, на которой становилась очевидной необходимость расширения и углубления исследований или появлялась идея относительно поворота в новом направлении. Очень жаль, что эти работы не были продолжены. В публикациях Л.Н. Могилева есть идеи, которые интересно и полезно было бы развивать и в настоящее время.

Естественное изменение текущих представлений, связанное с появлением новых концепций и экспериментальных данных, приводит к необходимости пересмотра ряда идей и открытий Л.Н. Могилева, их переоценки. Нет сомнения, что исследователи, пожелавшие заняться этой работой, найдут в наследии Л.Н. Могилева богатый материал и для переосмысления своей собственной работы.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы очень благодарны Л.Б. Лавровой и Е.В. Тимониной за поиск и сканирование публикаций Л.Н. Могилева в редких изданиях и Е.Н. Крутцовой за помощь в подготовке рисунков к печати.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бачалдина Л.Н., Гутник И.Н., Короленко А.В., Малышев В.В., Розанова О.И., Рычкова С.И., Соловьева В.В., Шуко А.Г. *Теоретическая и клиническая бинариметрия*. Новосибирск. 2006. 184 с.
- Васильева Н.Н., Рожкова Г.И. Возрастные изменения взаимодействия монокулярных и бинокулярных механизмов пространственного восприятия. *Сенсорные системы*. 2010. Т. 24 (1). С. 18–26.

- Компанейский Б.Н. Глубинные ощущения. Анализ теории раздражения не вполне соответствующих точек. *Вестник офтальмологии*. 1939. Т. 14 (1). С. 90–105.
- Могилев Л.Н. О пространственном зрительном эффекте при повторяющемся изображении. *Сборник докладов второй научной конференции физиологов, биохимиков и фармакологов Западно-Сибирского объединения, посвященной XXII съезду КПСС*. Томск. 1961. С. 95–96.
- Могилев Л.Н. Резервы нашего зрения. *Ангара*. 1963. Т. 2 (59). С. 40–41.
- Могилев Л.Н. Стереокинетический эффект как один из показателей функциональной организации зрительных центров. *Функционально-структурные основы системной деятельности и механизмы пластичности мозга. Сборник трудов Института мозга АМН СССР*. Москва. 1975. Вып. IV. С. 76–79.
- Могилев Л.Н. *Способ исследования пространственного зрения*. Авт. свидет. № 528929. Официальный бюллетень Государственного комитета Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. 1976. № 35. С. 11.
- Могилев Л.Н. *Бинариметр*. Авт. свидет. № 596220. Официальный бюллетень Государственного комитета Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий. Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки. 1978а. № 8.
- Могилев Л.Н. О дифференцированном исследовании силовых взаимоотношений механизмов пространственного зрения. *Системные и клеточные механизмы регуляции физиологических функций. Межвузовский сборник*. Иркутск. 1978б. С. 4–9.
- Могилев Л.Н. *Пространственные зрительные эффекты как показатели функциональной организации зрительных центров*. Автореф. дисс. докт. биол. наук. М.: 1979. 52 с.
- Могилев Л.Н. *Механизмы пространственного зрения*. Л.: Наука, 1982. 112 с.
- Могилев Л.Н., Бояркина Л.В. Использование условно-рефлекторных показателей для характеристики стереокинетического эффекта у людей. *Системные и клеточные механизмы регуляции физиологических функций. Межвузовский сборник*. Иркутск. 1978. С. 10–14.
- Могилев Л.Н., Рычков И.Л. К вопросу об эволюции пространственного зрения. *Функционально-структурные основы системной деятельности и механизмы пластичности мозга. Сборник трудов Института мозга АМН СССР*. М., 1974а. Вып. III. С. 466–470.
- Могилев Л.Н., Рычков И.Л. *Устройство для определения пространственных зрительных эффектов*. Авт. свидет. № 4523317. 1974б. № 45. С. 13.
- Могилев Л.Н., Уфимцева Л.П. К вопросу о сравнительно-физиологическом исследовании механизмов пространственного зрения. *Системные и клеточные механизмы регуляции физиологических функций. Межвузовский сборник*. Иркутск. 1978. С. 20–24.
- Могилев Л.Н., Рычков И.Л., Бояркина Л.В. О взаимоотношениях бинокулярного и стереокинетического механизмов пространственного зрения. *Тезисы научных сообщений XIII Съезда физиологов*. Тбилиси. 1975. С. 73–74.
- Могилев Л.Н., Юнин В.Н. Рычков И.Л. Пространственный зрительный эффект, полученный от рисованных плоских подвижных изображений без использования стереопары. *Тезисы докладов V Всесоюзной конференции по нейрокибернетике*. Ростов-на-Дону. 1973. С. 206–207.
- Рожкова Г.И. Автостереограммы: особенности структуры, условия успешного восприятия и практическое использование. *Стереозрение человека и стереотехнологии. Методическое пособие*. Под ред. Г.И. Рожковой. М.: ООО “КУНА”. 2022а. С. 130–137.
- Николаев П.П. Модели константного зрительного восприятия. *Интеллектуальные процессы и их моделирование*. М.: Наука, 1987. С. 300–350.
- Рожкова Г.И. Автостереограммы: особенности структуры, условия успешного восприятия и практическое использование. *Стереозрение человека и стереотехнологии. Методическое пособие*. Под ред. Г.И. Рожковой. М.: ООО “КУНА”, 2022а. Р. 130–137.
- Рожкова Г.И. Случайно-точечные стереограммы: уникальные инструменты для изучения, оценки и тренировки бинокулярных механизмов восприятия глубины. *Стереозрение человека и стереотехнологии. Методическое пособие*. Под ред. Г.И. Рожковой. М.: ООО “КУНА”, 2022б. С. 123–129.
- Рожкова Г.И., Васильева Н.Н. Взаимодействие бинокулярного и стереокинетического механизмов восприятия глубины у детей с нормальным и нарушенным бинокулярным зрением. *Сенсорные системы*. 2001. Т. 15 (1). С. 61–68.
- Рычков И.Л. *О взаимоотношении бинокулярного и стереокинетического механизмов пространственного зрения*. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Иркутск. 1974. 23 с.
- Рычков И.Л. *Многоуровневая функциональная организация пространственного зрения в результирующей деятельности животных и человека*. Дисс. докт. биол. наук. Иркутск. 1985. 383 с.
- Aschenbrenner C.M. Problems in getting information into and out of air photographs. *Photogram Engin.* 1954. V. 20. P. 398–401.
- Bergua A., Skrandies W. An early antecedent to modern random dot stereograms – ‘the secret stereoscopic writing’ of Ramon y Cajal. *Int J Psychophysiol.* 2000. V. 36. P. 69–72. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(99\)00111-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(99)00111-7)
- Brewster D. On the knowledge of distance given by binocular vision. *Trans Roy Soc Edinb.* 1844а. V. 15. P. 663–674.
- Brewster D. On the law of visible position in single and binocular vision and on the representation of solid figures by the union of dissimilar plane pictures on the retina. *Trans Roy Soc Edinb.* 1844b. V. 15. P. 349–368.
- Fisher G.T. Factors affecting estimation of depth with variations of stereokinetic effect. *Amer. J. Physiol.* 1956. V. 69. P. 252–257.

- Goethe J.W. *Zur Farbenlehre*. Tübingen. English translation in Matthaei R 1971 Goethe's color theory. 1810. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Howard I.P. *Perceiving in depth. Volume 1. Basic mechanisms*. Oxford university press, 2012a. 664 p.
- Howard I.P., Rogers B.J. *Perceiving in depth. Volume 2: Stereoscopic vision*. Oxford university press. 2012. 635 p.
- Howard I.P. *Perceiving in depth. Volume 3. Other mechanisms of depth perception*. Oxford university press, 2012b. 392 p.
- Julesz B. Binocular depth perception of computer-generated patterns. *Bell Syst Techn J*. 1960. V. 39 (5). P. 1125–1162.  
<https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1960.tb03954.x>
- Julesz B. Binocular depth perception without familiarity cues. *Science*. 1964. V.145. P. 356–362.  
<https://doi.org/10.1126/science.145.3630.356>
- Julesz B. *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: Univ. Chicago Press, 1971. 406 p.
- Kramer P., Stefano V., Bressan P. Stereokinetic effect, kinetic depth effect, and structure from motion. *The Oxford handbook of perceptual organization*. Oxford: Oxford University Press, 2014. 521–540.  
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199686858.013.053>
- Locke J. On single and double vision produced by viewing objects with both eyes: and on an optical illusion with regard to the distance of objects. *Am J Sci Arts*. 1849. V. 7. P. 68–74.
- Logvinenko A.D., Belopolskii V.I. Convergence as a cue for distance. *Perception*. 1994. V. 23 (2). P. 207–217.  
<https://doi.org/10.1068/p230207>
- Logvinenko A.D., Epelboim J., Steinman R.M. The role of vergence in the perception of distance: a fair test of Bishop Berkeley's claim. *Spatial Vision*. 2001. V. 15 (1). P. 77–97.  
<https://doi.org/10.1163/1568568015269202>
- Marr D.A. *Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. N.Y., W.H. Freeman & Company. 1982. 415 p.
- Meyer H. Über die Schätzung der Grosse und Entfernung. *Poggendorfs Ann Physik Chem*. 1852. V. 25. P. 198–207.
- Mefferd R.B., Wieland B.A. Perception of depth in rotating objects: Perspective as a determinant of a stereogenesis. *Percept. and Motor Skills*. 1967. V. 25. P. 621–628.
- Mogylev L.N., Rytchkov I.L., Rizzolatti G. Alcune osservazioni sui fenomeni stereocinetici. *Boll. Soc. It. Biol. Sper*. 1978. V. LIV. P. 1763–1768.
- Musatti C.L. Sui fenomeni stereocinetici. *Archivio Italiano di Psicologia*. 1924. V. 3. P. 105–120.
- Musatti C.L. Forma e assimilazione [Shape and assimilation]. *Archivio Italiano di Psicologia*. 1931. V. 9. P. 61–156.
- Ono H., Mitson L., Seabrook K. Change in convergence and retinal disparities as an explanation for the wallpaper phenomenon. *Journal of Experimental Psychology*. 1971. V. 91 (1). P. 1–10.  
<https://doi.org/10.1037/h0031795>
- Peck D. *Stereoscopic patterns and method of making same*. 1979. US Patent 4135502.
- Proffitt D., Rock I., Hecht H., Schubert J. Stereokinetic effect and its relation to the kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*. 1992. V. 18 (1). P. 3–21.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.18.1.3>
- Ramon y Cajal S. Recreaciones estereoscópicas y binoculares. *La Fotografía*. 1901. V. 27. P. 41–48.
- Sawada T., Rozhkova G.I. Two rediscoveries of the autostereogram in the 1960s. *i-Perception*. 2020. V. 11 (1). P. 1–5.  
<https://doi.org/10.1177/2041669520908895>
- Smith R. *A complete system of optiks in four books*. 1738. Cambridge.
- Trent E. Stereo designs as an art form. *Bulletin of the Stereoscopic Society*. 1972. V. 37. P. 7–10.
- Tyler C. Autostereogram. *Scholarpedia*, 2014. 9 (4):9229.  
<https://doi.org/10.4249/scholarpedia.9229>
- Tyler C.W., Clarke M.B. Autostereogram. *Stereoscopic Displays and Applications. Proc. SPIE*. 1990. V. 1258. P. 182–196.  
<https://doi.org/10.1117/12.19904>
- Wallach H., Centrella N.M. Identity imposition and its role in a stereokinetic effect. *Perception and Psychophysics*. 1990. V. 48 (6). P. 535–542.  
<https://doi.org/10.3758/BF03211599>
- Ullman S. *The Interpretation of Visual Motion*. MIT Press, Cambridge, Mass. 1979. 229 p.

## L. N. Mogilev's contribution to the research of the spatial vision mechanisms (to the 100th anniversary of the birth)

P. P. Nikolaev<sup>a,#</sup>, G. I. Rozhkova<sup>a</sup>, and M. A. Gracheva<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich Institute) Russian Academy of Sciences,  
127051 Bolshoy Karetny per. 19, build. 1, Moscow, Russia

<sup>#</sup>E-mail: nikol@iitp.ru

In the 60s of the last century, L.N. Mogilev at the Irkutsk State University launched a multifaceted large-scale work on the study of the spatial vision mechanisms which corresponded to the latest achievements and trends of the then science of vision both in terms of the methodological level and the choice of theoretical and experimental problems. Unfortunately, this work was carried out largely in isolation and was poorly presented at international conferences. As a result, many important findings of these studies and even L.N. Mogilev's

monograph “Mechanisms of Spatial Vision” (1982) remained unknown to most members of the scientific community involved in the development of methods for studying and theories of visual spatial perception, and were not included even in sufficiently detailed and complete foreign review editions. Perhaps this is also due to the fact that L.N. Mogilev himself in his publications paid insufficient attention to the work of his foreign predecessors and colleagues who carried out similar studies simultaneously with him. In connection with the anniversary date – the 100th anniversary of the birth of L.N. Mogilev – it seems important and useful to recall the most interesting works of this remarkable scientist and analyze them in context with similar earlier and parallel studies. In this article, an attempt is made to discuss the works of L.N. Mogilev in the field of spatial vision, highlighting the areas of research that most closely intersect with the studies and works of foreign authors who have received wide popularity and recognition.

*Key words:* L.N. Mogilev, mechanisms of spatial vision, stereokinetic effect, autostereogram, binarimeter

## REFERENCES

- Bachaldina L.N., Gutnik I.N., Korolenko A.V., Malyshev V.V., Rozanova O.I., Rychkova S.I., Solov'eva V.V., Shchuko A.G. *Teoreticheskaya i klinicheskaya binarimetriya* [Theoretical and clinical binarimetry]. Novosibirsk. 2006. 184 p.
- Vasil'eva N.N., Rozhkova G.I. Vozrastnye izmeneniya vzaimodeistviya monokulyarnykh i binokulyarnykh mekhanizmov prostranstvennogo vospriyatiya [Age dynamics of interaction between monocular and binocular mechanisms of spatial perception]. *Sensornye sistemy* [Sensory systems]. 2010. V. 24 (1). P. 18–26.
- Kompaneiskii B.N. Glubinnye oshchushcheniya. Analiz teorii razdrzheniya ne vpolne sootvetstvuyushchikh tochek [Depth perception. Analysis of the theory of excitation of not quite corresponding points.]. *Vestnik oftalmologii* [The Russian Annals of Ophthalmology]. 1939. V. 14 (1). P. 90–105. (in Russian).
- Mogilev L.N. O prostranstvennom zritel'nom effekte pri povtorjajushchemsja izobrazhenii [On the spatial visual effect with a repeated image]. *Sbornik dokladov vtoroi nauchnoi konferentsii fiziologov, biokhimikov i farmakologov Zapadno-Sibirskogo ob"edineniya, posvyashchennoi XXII s"ezdu KPSS*. Tomsk. 1961. P. 95–96. (in Russian).
- Mogilev L.N. Rezervy nashego zreniya [Reserves of our vision]. *Angara*. 1963. V. 2 (59). P. 40–41. (in Russian).
- Mogilev L.N. Stereokineticeskii ehffekt kak odin iz pokazatelei funktsional'noi organizatsii zritel'nykh tsentrov [Stereokinetic effect as one of the indicators of the functional organization of visual centers.]. *Funktsional'no-strukturnye osnovy sistemnoi deyatel'nosti i mekhanizmy plastichnosti mozga. Sbornik trudov Instituta mozga AMN SSSR*. Moskva. 1975. V. IV. P. 76–79. (in Russian).
- Mogilev L.N. *Sposob issledovaniya prostranstvennogo zreniya* [A method for studying spatial vision]. Certificate of authorship № 528929. Ofitsial'nyi byulleten' Gosudarstvennogo komiteta Soveta Ministrov SSSR po delam izobretenii i otkrytii. Otkrytiya, izobreteniya, promyshlennye obraztsy, tovarnye znaki. 1976. V. 35. P. 11. (in Russian).
- Mogilev L.N. *Binarimetr*. [Binarimeter]. Avtorskoe svidetel'stvo No 596220. Ofitsial'nyi byulleten'. 1978a. No 8. (in Russian).
- Mogilev L.N. O differentsirovannom issledovanii silovykh vzaimootnoshenii mekhanizmov prostranstvennogo zreniya [On a differentiated study of the power relationships of the mechanisms of spatial vision]. *Sistemnye i kletochnye mekhanizmy regulyatsii fiziologicheskikh funktsii. Mezhhuzovskii sbornik*. Irkutsk. 1978b. P. 4–9. (in Russian).
- Mogilev L.N. *Prostranstvennye zritel'nye ehffekty kak pokazatelei funktsional'noi organizatsii zritel'nykh tsentrov* [Spatial visual effects as indicators of the functional organization of visual centers]. Abstract of PhD thesis. Moscow. 1979. 49 p. (in Russian).
- Mogilev L.N. *Mekhanizmy prostranstvennogo zreniya* [Mechanisms of spatial vision]. L.: Nauka. 1982. 112 p. (in Russian).
- Mogilev L.N., Boyarkina L.V. Ispol'zovanie uslovno-reflektornykh pokazatelei dlya kharakteristiki stereokineticeskogo ehffekta u lyudei [The use of reflexive indicators to characterize the stereokinetic effect in humans]. *Sistemnye i kletochnye mekhanizmy regulyatsii fiziologicheskikh funktsii. Mezhhuzovskii sbornik*. Irkutsk. 1978. P. 10–14. (in Russian).
- Mogilev L.N., Rychkov I.L. K voprosu ob ehvolyutsii prostranstvennogo zreniya [On the question of the evolution of spatial vision]. *Funktsional'no-strukturnye osnovy sistemnoi deyatel'nosti i mekhanizmy plastichnosti mozga. Sbornik trudov Instituta mozga AMN SSSR*. Moskva, 1974. V. III. P. 466–470. (in Russian).
- Mogilev L.N., Rychkov I.L. *Ustroistvo dlya opredeleniya prostranstvennykh zritel'nykh ehffektov* [A device for determining spatial visual effects]. Certificate of authorship № 4523317. 1974. № 45. P. 13. (in Russian).
- Mogilev L.N., Rychkov I.L., Boyarkina L.V. O vzaimootnosheniyakh binokulyarnogo i stereo-kineticeskogo mekhanizmov prostranstvennogo zreniya [On the relationship between binocular and stereo-kinetic mechanisms of spatial vision]. *Tezisy nauchnykh soobshchenii XII S"ezda fiziologov*. Tbilisi. 1975. P. 73–74. (in Russian).
- Mogilev L.N., Ufimtseva L.P. K voprosu o sravnitel'no-fiziologicheskom issledovanii mekhanizmov prostranstvennogo zreniya [On the question of comparative physiological study of mechanisms of spatial vision].

- tvennogo zreniya [To the question of the comparative physiological study of the mechanisms of spatial vision]. *Sistemnye i kletochnye mekhanizmy regulyatsii fiziologicheskikh funktsii. Mezhdvuzovskii sbornik*. Irkutsk. 1978. P. 20–24. (in Russian).
- Mogilev L.N., Yunin V.N., Rychkov I.L., Prostranstvennyi ehffekt, poluchennyi ot risovannykh ploskikh podvizhnykh izobrazhenii bez ispol'zovaniya stereopary [A spatial effect obtained from hand-drawn flat moving images without the use of a stereopair]. *Tezisy dokladov V Vsesoyuznoi konferentsii po neirokibernetike*. Rostovna-Donu. 1973. P. 208. (in Russian).
- Nikolayev P.P. *Modeli konstantnogo zritel'nogo vospriyatiya. Intellektual'nye protsessy i ih modelirovaniye*. [Models of constant visual perception.] M., Nauka, 1987. P. 300–350. (in Russian).
- Rozhkova G.I. *Avtostereogrammy: osobennosti struktury, usloviya uspehnogo vospriyatiya i prakticheskoe ispol'zovanie* [Autostereograms: structural features, conditions of successful perception and practical usage]. *Stereozrenie cheloveka i stereotekhnologii. Metodicheskoe posobie*. Ed. G.I. Rozhkova. M.: OOO "KUNA". 2022a. P. 130–137. (in Russian).
- Rozhkova G.I. Sluchaino-tochechnye stereogrammy: unikal'nye instrumenty dlya izucheniya, otsenki i trenirovki binokulyarnykh mekhanizmov vospriyatiya glubiny [Random-dot stereograms: the unique tools for studying, testing, and training brain mechanisms of binocular depth perception]. *Stereozrenie cheloveka i stereotekhnologii. Metodicheskoe posobie*. Ed. G.I. Rozhkova. M.: OOO "KUNA". 2022b. P. 123–129. (in Russian).
- Rozhkova G.I., Vasil'eva N.N. Vzaimodeistvie binokulyarnogo i stereokineticheskogo mekhanizmov vospriyatiya glubiny u detei s normal'nym i narushennym binokulyarnym zreniem [Interaction of binocular and stereokinetic depth mechanisms in children with normal and impaired binocular vision]. *Sensornye sistemy* [Sensory systems]. 2001. V. 15 (1). P. 61–68. (in Russian).
- Rychkov I.L. *O vzaimootnoshenii binokulyarnogo i stereokineticheskogo mekhanizmov pro-stranstvennogo zreniya* [On the relationship between binocular and stereokinetic mechanisms of spatial vision]. Abstract of PhD thesis. Irkutsk. 1974. 23 p. (in Russian).
- Rychkov I. L. *Mnogourovnevaya funktsional'naya organizatsiya prostranstvennogo zreniya v rezul'tativnoi deyatelnosti zhivotnykh i cheloveka* [Multilevel functional organization of spatial vision in the productive activity of animals and humans]. Diss. dokt. biol. nauk. Irkutsk. 1985. 383 p. (in Russian).
- Aschenbrenner C.M. Problems in getting information into and out of air photographs. *Photogram Engin.* 1954. V. 20. P. 398–401.
- Bergua A., Skrandies W. An early antecedent to modern random dot stereograms – 'the secret stereoscopic writing' of Ramon y Cajal. *Int J Psychophysiol.* 2000. V. 36. P. 69–72. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(99\)00111-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(99)00111-7)
- Brewster D. On the knowledge of distance given by binocular vision. *Trans Roy Soc Edinb.* 1844a. V. 15. P. 663–674.
- Brewster D. On the law of visible position in single and binocular vision and on the representation of solid figures by the union of dissimilar plane pictures on the retina. *Trans Roy Soc Edinb.* 1844b. V. 15. P. 349–368.
- Fisher G.T. Factors affecting estimation of depth with variations of stereokinetic effect. *Amer. J. Physiol.* 1956. V. 69. P. 252–257.
- Goethe J.W. *Zur Farbenlehre*. Tubingen. English translation in Matthaer R 1971 Goethe's color theory. 1810. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Howard I.P. *Perceiving in depth. Volume 1. Basic mechanisms*. Oxford university press, 2012a. 664 p.
- Howard I.P., Rogers B.J. *Perceiving in depth. Volume 2: Stereoscopic vision*. Oxford university press. 2012. 635 p.
- Howard I.P. *Perceiving in depth. Volume 3. Other mechanisms of depth perception*. Oxford university press, 2012b. 392 p.
- Julesz B. Binocular depth perception of computer-generated patterns. *Bell Syst Techn J.* 1960. V. 39 (5). P. 1125–1162. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1960.tb03954.x>
- Julesz B. Binocular depth perception without familiarity cues. *Science.* 1964. V. 145. P. 356–362. <https://doi.org/10.1126/science.145.3630.356>
- Julesz B. *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: Univ. Chicago Press, 1971. 406 p.
- Kramer P., Stefano V., Bressan P. Stereokinetic effect, kinetic depth effect, and structure from motion. *The Oxford handbook of perceptual organization*. Oxford: Oxford University Press, 2014. 521–540. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199686858.013.053>
- Locke J. On single and double vision produced by viewing objects with both eyes: and on an optical illusion with regard to the distance of objects. *Am J Sci Arts.* 1849. V. 7. P. 68–74.
- Logvinenko A.D., Belopolskii V.I. Convergence as a Cue for Distance. *Perception.* 1994. V. 23 (2). P. 207–217. <https://doi.org/10.1068/p230207>
- Logvinenko A.D., Epelboim J., Steinman R.M. The role of vergence in the perception of distance: a fair test of Bishop Berkeley's claim. *Spatial Vision.* 2001. V. 15 (1). P. 77–97. <https://doi.org/10.1163/1568568015269202>
- Marr D.A. *Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. N.Y., W.H. Freeman & Company. 1982. 415 p.
- Mefferd R.B., Wieland B.A. Perception of depth in rotating objects: Perspective as a determinant of stereopsis. *Perception and Motor Skills.* 1967. V. 25. P. 621–628.
- Meyer H. Uber die Schatzung der Grosse und Entfernung. *Poggendorfs Ann Physik Chem.* 1852. V. 25. P. 198–207.
- Mogylev L.N., Rytchkov I.L., Rizzolatti G. Alcune osservazioni sui fenomeni stereocinetici. *Boll. Soc. It. Biol. Sper.* 1978. V. LIV, P. 1763–1768.

- Musatti C.L. Sui fenomeni stereokinetici. *Archivio Italiano di Psicologia*. 1924. V. 3. P. 105–120.
- Musatti C.L. Forma e assimilazione [Shape and assimilation]. *Archivio Italiano di Psicologia*. 1931. V. 9. P. 61–156.
- Ono H., Mitson L., Seabrook K. Change in convergence and retinal disparities as an explanation for the wallpaper phenomenon. *Journal of Experimental Psychology*. 1971. V. 91 (1). P. 1–10.  
<https://doi.org/10.1037/h0031795>
- Peck D. *Stereoscopic patterns and method of making same*. 1979. US Patent 4135502.
- Proffitt D., Rock I., Hecht H., Schubert J. Stereokinetic effect and its relation to the kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*. 1992. V. 18 (1). P. 3–21.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.18.1.3>
- Ramon y Cajal S. Recreaciones estereoscópicas y binoculares. *La Fotografía*. 1901. V. 27. P. 41–48.
- Sawada T., Rozhkova G.I. Two rediscoveries of the autostereogram in the 1960s. *i-Perception*. 2020. V. 11 (1). P. 1–5. <https://doi.org/10.1177/2041669520908895>
- Smith R. *A complete system of optiks in four books*. 1738. Cambridge.
- Trent E. Stereo designs as an art form. *Bulletin of the Stereoscopic Society*. 1972. V. 37. P. 7–10.
- Tyler C. Autostereogram. *Scholarpedia*, 2014. 9 (4):9229. <http://dx.doi.org/10.4249/scholarpedia.9229>
- Tyler C.W., Clarke M.B. Autostereogram. *Stereoscopic Displays and Applications. Proc. SPIE*. 1990. V. 1258. P. 182–196. <https://doi.org/10.1117/12.19904>
- Wallach H., Centrella N.M. Identity imposition and its role in a stereokinetic effect. *Perception and Psychophysics*. 1990. V. 48 (6). P. 535–542.  
<https://doi.org/10.3758/BF03211599>
- Ullman S. *The Interpretation of Visual Motion*. MIT Press, Cambridge, Mass. 1979. 229 p.