

Научная статья

УДК 159.931

<https://doi.org/10.21702/ncpb.2022.2.1>

## Обзор процесса обработки зрительной информации на уровне коры больших полушарий

Виктория Д. Вороная

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: voronaya@sfedu.ru

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9984-2245>

---

### Аннотация

**Введение.** Ввиду сохранения актуальности проблемы зрения и обработки зрительной информации, разрабатываемой на данный момент в различных направлениях, остается важным систематизация и обобщение накопленной информации, необходимой для первичной ориентировки в контексте проблемы, что и выступает **целью** данной работы. Ее **новизна** заключается в доступном и тезисном изложении проблемы с сохранением вектора актуальных исследований, что позволит ознакомиться с проблематикой и затем постепенно погружаться в контекст. В **теоретическом обосновании** имеется информация о том, что за продолжение процесса обработки зрительного стимула ответственны ряд зон зрительной коры. В стриарной зрительной коре происходит анализ стимулов по принципу выделения фигуры из фона или фона из фигуры; кроме того, в ней кодируются контраст, пространственная частота и ориентация стимула, то есть, создается первичный зрительный образ, который дополняется на дальнейших уровнях обработки. В экстрастриарной зрительной коре происходит ряд процессов, направленных на анализ специфических признаков объектов. В зоне V2 продолжается общая обработка стимула, восприятие пространственно-ориентационных характеристик; в зоне V3 также анализируется ориентация объекта; зона V4 ответственна за восприятие цвета; V5 (MT) – движения. Вторичный зрительный образ затем создается в ассоциативной зоне коры, где происходит опознание сложных сигналов. В **обсуждении результатов** указаны базовые и актуальные направления исследований в данной сфере, например, на исследование зрительных механизмов второго порядка и проблему связывания, нейропластичность, специфику нейронов-детекторов зрительной коры и восприятие цвета.

**Ключевые слова:**

Зрительная кора, стриарная кора, экстрастриарная кора, зрительный образ, обработка стимулов, зрительное восприятие

---

**Для цитирования**

Вороная В.Д. (2022). Обзор процесса обработки зрительной информации на уровне коры больших полушарий. *Северо-Кавказский психологический вестник*, 20(2), 5–14. <https://doi.org/10.21702/ncpb.2022.2.1>

---

**Research article**

UDC 159.93

<https://doi.org/10.21702/ncpb.2022.2.1>

## **Review of visual information processing at the cerebral cortex level**

**Victoria D. Voronaya**

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

E-mail: voronaya@sfedu.ru

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9984-2245>

### **Abstract**

**Introduction.** The problem of vision and processing the visual information is currently being developed in various directions. It remains important to systematize and generalize the accumulated information, that will help in the primary orientation in the problem, which is the **purpose** of this work. The **novelty** lies in an accessible and abstract presentation of the problem with pointing the vector of current researches. The **theoretical justification** indicates that a number of areas of the visual cortex are responsible for the continuation of the visual stimulus processing process. In the primary visual cortex, stimuli are analyzed according to the principle of selecting a figure from a background or a background from a figure. Contrast, spatial frequency and orientation of the stimulus are encoded in the primary cortex. The extrastriate visual cortex has different areas. In the V2 area we may see the perception of spatial-orientation characteristics; in V3 – the orientation of the object. Area V4 is responsible for the perception of color; area V5 (MT) is responsible for the perception of movement. A secondary visual image is created in the associative zone of the cortex, where complex signals are recognized. In the **discussion of the results** the actual directions of research are marked: second-order visual mechanisms, the problem of

binding, neuroplasticity, the specifics of neurons-detectors of the visual cortex and color perception.

**Keywords:** visual cortex, primary visual cortex, extrastriate visual cortex, visual image, stimulus processing, visual perception

---

#### For citation

Voronaya V.D. (2022). Review of visual information processing at the cerebral cortex level. *Severo-Kavkazskii psikhologicheskii vestnik (North-Caucasian Psychological Bulletin)*, 20(2), 5–14. (in Russ.). <https://doi.org/10.21702/ncpb.2022.2.1>

---

### Введение

Ввиду наличия и сохранения устойчивого интереса исследователей к проблеме зрения, связывания, зрительных механизмов второго порядка, участков зрительной коры, ответственных за обработку определенных типов стимулов (Garg, Li, Rashid, & Callaway, 2019; Babenko, Yavna, 2008), остается важным систематизация данной информации в доступной для восприятия форме, что необходимо для введения начинающих исследователей в контексте данной проблемы. В связи с этим целью данной статьи является обобщение и систематизация базовой информации о процессе обработки зрительных стимулов на уровне стриарной и экстрастриарной коры.

Свое начало зрительное восприятие берет с анализа и выделения общих и частных свойств зрительного объекта, а завершается его опознанием посредством сопоставления с имеющимися в памяти данными, причем в процессе построения зрительного образа важную роль играет предыдущий сенсорный опыт. Конечно, полноценное восприятие окружающей среды возможно при целостном взаимодействии сенсорных систем, то есть при подкреплении зрительной информации вестибулярной, слуховой и другими системами (Чупров, Жедяле & Воронина, 2021).

Свет, попадая на сетчатку, с помощью фоторецепторов (палочек и колбочек) преобразуется в нервное возбуждение. В сетчатке нервное возбуждение также преобразуется в параллельный информационный поток, происходит сжатие входной информации (за счет того, что ганглиозных клеток меньше, чем фоторецепторов). Нейроны сетчатки реагируют на темные и светлые пятна, выделяют контрасты и контуры, которые в дальнейшем усиливаются нейронами латерального колленчатого тела таламуса (Бабенко, Ермаков, 2013).

### Теоретическое обоснование

Прежде чем приступить к анализу обработки информации на уровне стриарной коры, следует отметить, что после ЛКТ сигнал проходит обработку последовательно во взаимосвязанных зонах коры (рис. 1). Первой зрительную информацию принимает первичная зрительная кора (V1), затем обработка происходит во вторичной (V2) и третичной (V3). Далее сенсорный поток разделяется на две части (Кожухов, 2014): дорсальный поток направляется в области, которые отвечают за анализ пространственного положения и движения зрительного предмета (V1, V2, V3, теменная кора); вентральный поток ответственен за анализ формы, цвета, текстуры зрительного предмета и направляется в соответствующие области (из V1 в четвертичную зрительную кору (V4), нижневисочную кору (IT)). Далее оба сигнала подвергаются обработке во фронтальных и энторинальных зонах коры.

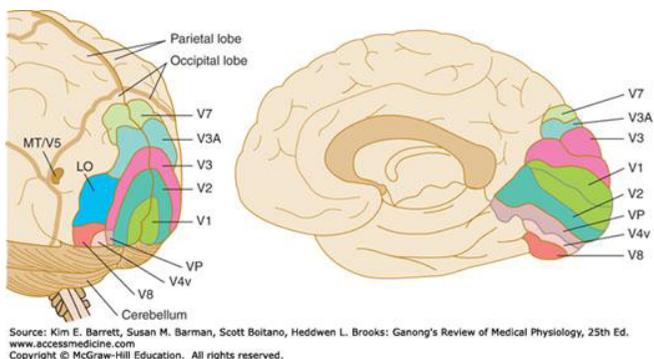


Рисунок 1. Основные области зрительной коры

#### 1. Обработка информации на уровне стриарной коры

Самой первой областью, принимающей зрительную информацию, выступает первичная (стриарная) зрительная кора. Она включает в себя зону V1, анатомически являющейся полем 17 по Бродману. В ней происходят базовые процессы, позволяющие осуществлять первичную регистрацию локальных черт воздействующего стимула, к примеру, его краев и ориентации (Walker, Cotton, Ma & Tolias, 2020). Ретинопическая организация с обширным представительством желтого пятна характерна для стриарной коры так же, как и для ЛКТ.

Рецептивные поля стриарной коры чувствительны к пространственно-частотному и ориентационному компонентам изображения. В ней происходит сегментация зрительного поля на фрагменты по принципу выделения фигуры из фона; данная функция реализуется дирекциональными, бинокулярными

и цветовыми нейронами, выделяющими двигающиеся и разноглубинные участки (Правдивцев, Смирнов, Евсеев, 2014). Нейроны стриарной коры дифференцируются по функциям, и некоторые из них отвечают только на определенные типы стимулов, поступающие от обоих глаз: края и полосы различной ориентации, различные пространственные частоты, специфические пространственные местоположения (Фершильд, 2006). Таким образом, на уровне первичной зрительной коры происходит обработка входных импульсаций, построение простой модели пространства, первичная оценка формы, расположения и цвета объектов.

При двусторонних повреждениях стриарной коры происходит выпадение поля зрения с одной стороны для обеих глаз; при локальном повреждении возникают скотомы. При стимуляции стриарной коры возникают фотопсии, представленные в виде светящихся щаров, точек, дисков, что свидетельствует о ее роли в первичном анализе зрительной импульсации (Правдивцев, Смирнов, Евсеев, 2014). Собственно, поле V1 также ответственно за заполнение слепого пятна локальных скотом (Spillmann, 2009).

Итак, стриарная кора ответственна за выделение информационных фрагментов зрительного образа по определённому признаку, которым является фигура – фон. То есть, формируется разница между объектом и окружением, причем акцент может делаться как на выделение фигуры из фона, так и на выделение фона у фигуры (Бабенко, Ермаков, 2013). В ней кодируются контраст, пространственная частота и ориентация.

## **2. Обработка зрительной информации на уровне экстрастриарной коры**

Экстрастриарная зрительная кора, также называемая зрительной ассоциативной корой и включающая поля Бродмана 18 и 19, состоит из ряда кортикальных слоев обрабатывает специфическую информацию об особенностях нейронных сигналов. Относительно первичной зрительной коры они именуются полями V2, V3, V4, и V5 (MT). Вывод о выполняемых ими функциях связан с анализом клинических данных о поражениях данных областей. Так, к примеру, повреждение V4 ведет к утрате цветового зрения, а повреждение V5 ведет к утрате способности воспринимать движение (Бабенко, Ермаков, 2013), что уже дает представление об их свойствах. Важно также обозначить наличие большого количества связей между различными зонами корковой части зрительной системы. Зона V1, к примеру, тесно связана с зоной V2, что свидетельствует об ее участии в начальной обработке зрительного стимула. Заднетеменная, верхневисочная, средневисочная области головного мозга также задействованы в процессе обработки зрительной информации (Кожухов, 2014).

### 3. Зона V2

Основной вход зон V2 получает из первичной зрительной коры; они также находятся в тесной функциональной взаимосвязи и в целом имеют похожие свойства по принципам реагирования на световой стимул. Однако рецептивные поля V2 отличаются большим размером, чем поля V1. В целом поле V2 отвечает за восприятие ориентационных признаков, в особенности высокочастотных признаков (Бабенко, Ермаков, 2013). Область V2 образует прямые проекции в V3, V4 и V5.

### 4. Зона V3

Большинство нейронов данной области избирательны к ориентации; значительная часть дирекциональна; имеются также нейроны, избирательные к цвету (Бабенко, Ермаков, 2013). Основной функцией зоны V3 является динамический анализ формы воспринимаемого объекта.

### 5. Зона V4

Помимо нейронов с дирекциональной, ориентационной избирательностью, чувствительностью к текстурным поверхностям и длине нейрона (которые обеспечивают восприятие ширины, ориентации и размера стимула, его пространственного положения) в поле V4 существуют нейроны с цветовой чувствительностью, что обуславливает его функцию восприятия цветов. Ее изучение связано с трудами С. Зеки (Zeki, 1978), впервые описавшим принципы работы зоны V4. Было установлено, что только нейроны V4 способны к активации при восприятии цветовой информации.

Однако существуют ряд предположений о дополнительных функциях V4: к ним относят статический анализ формы, распознавание объектов средней сложности (например, геометрических фигур), а также зависимость от процессов распределения зрительного внимания (Бабенко, Ермаков, 2013).

### 6. Зона V5 (MT)

Основной особенностью зоны V5, или же MT, является особая чувствительность к движению воспринимаемого объекта, то есть большинство ее клеток избирательны к движению и отвечают за восприятие динамических характеристик объектов (Правдивцев, 2014). К тому же отмечается избирательность к направлению и скорости движения, к глубине его расположения относительно точки фиксации и, следовательно, на его сближение или удалении его границ.

Область MT в совокупности с областью IT (нижневисочной корой) могут также образовывать связь с зонами, ответственными за формирование двигательной команды и принятие решения, то есть, предположительно, принимать участие в формировании поведения.

## 7. Другие зоны

Описание отдельных зон не является целостным, поскольку выделяется также ряд иных, тоже важных для формирования зрительного образа. Так, например, зона MST имеет избирательную реакцию на увеличение или уменьшение зрительного стимула и на определенное направление вращения стимула как во фронтальной плоскости, так и в глубину. У нейронов зоны V3A замечена интересная особенность: величина их ответов на одинаковую стимуляцию сетчатки в значительной степени менялась при изменении направления взора животного (Нестеров, 2010).

Итак, как указывается, в экстрастриарной коре анализируются движущиеся или покоящиеся текстуры, что свидетельствует о действии **фильтрационного механизма по признаку статика – динамика** (Филимонов, 1997).

При повреждениях экстрастриарной коры чаще всего отмечаются агнозии: предметная (неспособность охарактеризовать функциональную предназначенность предмета при его восприятии); лицевая (неспособность адекватно различать лица); цветовая (неспособность систематизации предметов по цвету, связанная с повреждениями зоны V4), оптико-моторная (неспособность фиксации взгляда). Большинство агнозий возникают из-за множественных дисфункций интегративных механизмов зрительной системы (Правдивцев, 2014).

Подводя итог, зоны V2 и V3 ответственны за обработку информации о форме воспринимаемого объекта и его положении в пространстве. Зона V4 в основном воспринимает информацию о цветовых характеристиках стимула. Зона V5 анализирует информацию о движении, то есть воспринимает динамические признаки предмета. Можно также отметить, что помимо связей с экстрастриарной корой, стриарная также имеет связи с нижневисочной (IT), где предположительно происходит процесс интеграции обработанной информации о форме и цвете предмета. Дальнейшая обработка зрительной информации и формирование зрительного образа происходит в ассоциативных (третичных) зонах коры.

## Обсуждение результатов

Выделение локальных признаков происходит с помощью механизмов первого порядка, а их группировка – с помощью механизмов второго порядка, которые существуют при параллельной обработке и на преаттентивном уровне (то есть, до включения избирательного внимания). Указывается, что преаттентивный механизм группировки обуславливает возможность человека к обнаружению градиентов, ориентации и глубине расположения объектов, оценке движения, разделению текстур (Бабенко, Ермаков, 2013).

Таким образом, фильтры второго порядка объединяют несколько фильтров первого порядка и вследствие этого приобретают избирательность

к пространственным модуляциям простых признаков, формируя определенные когнитивные блоки. Механизмы второго порядка, как указывается, «чувствительны к модуляциям контраста, ориентации и пространственной частоты» (Babenko, Yavna, 2008). Их изучение в данный момент является актуальным для понимания проблемы связывания, то есть для проблемы объединения хаотичного окружающего стимульного пространства в видимое нами единое целое.

Еще одним актуальным направлением исследований является изучение визуальной салиентности как свойства объекта зрительной сцены быть более заметным на фоне остальных и привлекать внимание; данное направление может быть полезным в практической работе (Кочурко, 2015).

Остается открытым вопрос о нейропластичности (Castaldi, Lunghi & Morrone, 2020) как о способности нервной системы адаптироваться и оптимизировать свои ограниченные ресурсы в ответ на физиологические изменения, травмы, новые требования окружающей среды и сенсорные стимулы. Также остается актуальным вопрос о кодировании цвета (Garg, Li, Rashid, & Callaway, 2019).

Актуален и вопрос о нейронах-детекторах, являющихся специализированными нервными клетками, которые реагируют на какой-либо отдельный признак сенсорного сигнала или их совокупность. Выделяют такие детекторы, как детекторы пространственной ориентации (оценивающие пространственное положение объекта), новизны (реагирующие только на новую информацию), контраста (реагирующие на четкие границы и собственно контрасты), длины (настроенные на восприятие отрезков линий, коротких или длинных), ориентационно-чувствительные (дающие максимальный ответ при определенном угле поворота полоски или решетки), дирекционально-селективные (реагирующие на движение стимула), константные (учитывающие положение глаз в орбитах) и ряд иных. Детектирование сигналов в таком случае – избирательное выделение сенсорным нейроном определённого признака стимула. Так, к примеру, нейрон зрительной области коры отвечает разрядом только на определенную ориентацию полосы, темной или светлой расположенной в определенной части поля зрения; при изменении ее ориентации ответ будет получен от других нейронов. В стриарной коре возможна реакция на крестообразные, угловые и звездчатые стимулы, что может говорить об их чувствительности к пересечениям линий (Потапов, Аверкин, 2008).

### Литература

- Бабенко, В. В., Ермаков, П. Н. (2013). Зрение и проблема связывания. Общество с ограниченной ответственностью Кредо.
- Кожухов, С. А. (2014). Взаимосвязь динамических характеристик ответов нейронов первичной зрительной коры и кодирования признаков

- изображения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук. Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук.
- Кочурко, В.А. (2015). Обнаружение объектов системами компьютерного зрения: подход на основе визуальной салиентности. Доклады БГУИР, 5 (91), 47–53.
- Нестеров, В. Н. (2010). Методика визуализации процессов обучения по физике в вузе. Альманах современной науки и образования, 4, 58–64.
- Потапов, А. С., Аверкин, А. Н. (2008). Модель клеток зрительной коры, селективных к пространственно-периодическим структурам, на основе сети Хопфилда-Танка. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 52.
- Правдивцев, В. А., Смирнов, В. М., & Евсеев, А. В. (2014). Зрительная сенсорная система-нейрофизиологические механизмы (лекция для студентов). Вестник Смоленской государственной медицинской академии, 13(1), 92–103.
- Фершильд, М. Д. (2006). Модели цветового восприятия (второе издание), 437.
- Филимонов, А. В. (1997). Физиологическая основа для аналитической психологии КГ Юнга и соционики А. Аугустина. Соционика, ментология и психология личности, 5, 69–81.
- Чупров, А. Д., Жедяля, Н. А., & Воронина, А. Е. (2021). Методы исследования центрального отдела зрительного анализатора (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал, 17(2), 396–400.
- Babenko, V., Yavna, D. (2008). Specificity of the visual second-order mechanisms. *Perception*, 37, 78–79.
- Castaldi, E., Lunghi, C., & Morrone, M. C. (2020). Neuroplasticity in adult human visual cortex. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 112, 542–552.
- Garg, A., Li, P., Rashid, M., & Callaway, E. (2019). Color and orientation are jointly coded and spatially organized in primate primary visual cortex. *Science*, 364(6447), 1275–1279.
- Spillmann, L. (2009). Phenomenology and neurophysiological correlations: Two approaches to perception research. *Vision Research*, 49(12), 1507–1521.
- Walker, E., Cotton, R., Ma, W., & Tolias, A. (2020). A neural basis of probabilistic computation in visual cortex. *Nature Neuroscience*, 23(1), 122–129.
- Zeki, S. (1978). Functional specialization in the visual cortex of the rhesus monkey. *Nature*, 274(5670), 423–428.

## References

- Babenko, V. V., Ermakov, P. N. (2013). Vision and the binding problem. Credo Limited Liability Company. (In Russ.)
- Babenko, V., Yavna, D. (2008). Specificity of the visual second-order mechanisms.

- Perceprion, 37, 78–79.
- Castaldi, E., Lunghi, C., & Morrone, M. C. (2020). Neuroplasticity in adult human visual cortex. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 112, 542–552.
- Chuprov, A.D., Zhedyale, N. A., & Voronina, A. E. (2021). Research methods of the central department of the visual analyzer (review). *Saratov Journal of Medical Science*, 17(2), 396–400. (In Russ.)
- Fershill, M. D. (2006). *Models of Color Perception* (second edition), 437. (In Russ.)
- Filimonov, A.V. (1997). Physiological basis for analytical psychology of C. G. Jung and socionics of A. Augustin. *Socionics, mentology and personality psychology*, 5, 69–81. (In Russ.)
- Garg, A., Li, P., Rashid, M., & Callaway, E. (2019). Color and orientation are jointly coded and spatially organized in primate primary visual cortex. *Science*, 364(6447), 1275–1279.
- Kochurko, V.A. (2015). Object detection by computer vision systems: an approach based on visual salience. *Reports of BSUIR*, 5 (91), 47–53.
- Kozhukhov, S. A. (2014). The relationship between the dynamic characteristics of the responses of neurons of the primary visual cortex and the encoding of image features. Dissertation for the degree of Candidate of Sciences. Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences. (In Russ.)
- Nesterov, V. N. (2010). Methodology of visualization of the processes of teaching physics at the university. *Almanac of Modern Science and Education*, 4, 58–64. (In Russ.)
- Potapov, A. S., Averkin, A. N. (2008). A model of visual cortex cells selective to spatially periodic structures based on the Hopfield-Tank network. *Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 52. (In Russ.)
- Pravdivtsev, V. A., Smirnov, V. M., & Evseev, A.V. (2014). Visual sensory system - neurophysiological mechanisms (lecture for students). *Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*, 13(1), 92–103. (In Russ.)
- Spillmann, L. (2009). Phenomenology and neurophysiological correlations: Two approaches to perception research. *Vision Research*, 49(12), 1507–1521.
- Walker, E., Cotton, R., Ma, W., & Tolias, A. (2020). A neural basis of probabilistic computation in visual cortex. *Nature Neuroscience*, 23(1), 122–129.
- Zeki, S. (1978). Functional specialization in the visual cortex of the rhesus monkey. *Nature*, 274(5670), 423–428.

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.**