

Г. Н. РАУТИАН и В. И. ДЕМКИНА

### МАЛЫЕ ПОЛЯ В КОЛОРИМЕТРИИ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 11 IV 1949)

1. В нашей работе мы преследовали цель установления связи между размером поля зрения и остротой цветоразличения, как она сказывается в погрешностях измерения цвета на аддитивных трехцветных колориметрах.

Исследования П. П. Лазарева (1) и Рунге (2) обнаружили в свое время увеличение погрешностей фотометрических измерений по мере уменьшения поля зрения ниже  $2^\circ$  и особенно ниже  $1^\circ$ . Кроме того, имеется ряд исследований (3), которые согласно свидетельствуют, что размер используемого в области fovea участка ретины оказывает заметное влияние на ход кривой видности по спектру, вызывая смещение максимума в сторону желто-оранжевой части спектра при уменьшении поля зрения ниже  $2^\circ$ . Наконец, надо отметить за последние годы целый ряд работ и, прежде всего, работу Уиллера и Райта (4), показавших, что в случае полей зрения размером около  $0.5^\circ$  и меньше все цвета спектра могут быть получены смешением только двух спектральных цветов, например  $0,65$  и  $0,46 \mu$ , что позволяет считать работающий в данных условиях участок ретины дихроматическим, и в частности триганопическим. Этот парадоксальный результат полностью подтверждает несправедливо забытые данные Кенига, который еще в 1894 г. таким же путем, как и выше цитированные исследователи, установил, что на участке fovea меньше одного градуса наблюдается триганопия.

Помимо этих непосредственных исследований чувствительности, в ряде работ (6) за последнее время было обнаружено ухудшение цветоразличения при наблюдении цветных объектов малых угловых размеров, характерное для тританомалии или даже для тританопии. Здесь будет кстати подчеркнуть тот, хотя и общеизвестный факт, что светочувствительные элементы fovea морфологически весьма отличны от подобных элементов за ее пределами.

2. Наша работа заключалась в установлении величины погрешностей при колориметрических измерениях ряда цветных светофильтров: серого, сине-зеленого, фиолетового, пурпурового и розового, цветность которых представлена точками (x, y) на рис. 4.

Яркость поля зрения поддерживалась для всех светофильтров постоянной и составляла в субъективной мере около 40 фотон\*.

Все измерения выполнялись на трехцветном колориметре системы Демкиной. Перед кубиком Льюмера прибора помещались сменные

\* Фотон — освещенность на ретине, отвечающая наблюдаемой яркости  $1 \cdot 10^{-4}$  сб при зрачке  $1 \text{ мм}^2$ .

диафрагмочки, изменявшие нормальный ( $1,9^\circ$ ) размер поля зрения до  $1,12$ ;  $0,84$ ;  $0,47$ ;  $0,33$  и  $0,12^\circ$ .

В измерениях участвовал только один наблюдатель (В. И. Д.), весьма опытный в колориметрических измерениях и с вполне нормальным цветным зрением и рефракцией.

Для каждого испытуемого светофильтра выполнялось пять последовательных установок на равенство цвета в обеих половинках поля зрения колориметра, и это именуется в дальнейшем „измерительной точкой“.

Для каждого светофильтра, на основе значений ( $K_i, Z_i, C_i$ ), полученных по каждой из трех шкал прибора для 30 таких измерительных точек с тем или другим размером поля зрения, вычислялся средний результат ( $\bar{K}, \bar{Z}, \bar{C}$ ), а также значения средней квадратичной погрешности  $E$  результата и погрешности  $\epsilon$  отдельного измерения в такой

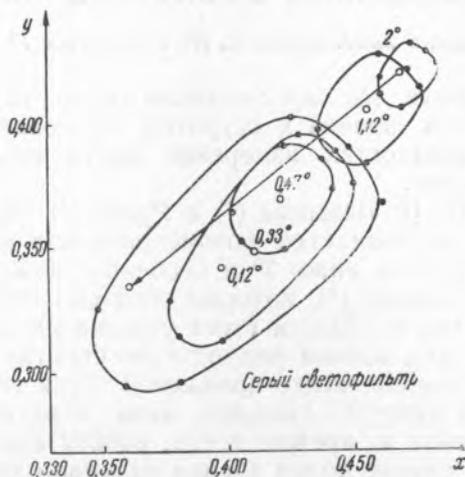


Рис. 1

серии из 30 „точек“. Такие измерения были произведены с 5 светофильтрами при 6 различных размерах поля зрения, указанных выше.

На основе полученных данных можно установить два существенных вывода: 1) По мере уменьшения поля зрения наблюдается определенное увеличение погрешностей измерения, в большинстве случаев в несколько раз, проявляющееся сильнее всего при очень малых полях зрения, таких, как  $0,33$  и  $0,12^\circ$ , но уже при уменьшении до  $1,12^\circ$  сказывающееся увеличением более чем вдвое; 2) по мере уменьшения поля зрения возникают определенные сдвиги в координатах  $\bar{K}, \bar{Z}, \bar{C}$  для всех без исключения рассматриваемых светофильтров.

3. Пересчетом ( $\bar{K} \pm \Delta\bar{K}$ ), ( $\bar{Z} \pm \Delta\bar{Z}$ ), ( $\bar{C} \pm \Delta\bar{C}$ ) от координат прибора к международным цветовым координатам  $XYZ$  получаем возможность установить на диаграмме цветностей ( $x, y$ ) участки неопределенности вокруг цветových точек светофильтров, т. е. их эллипсы рассеяния.

На рис. 1—3, иллюстрирующих вышеуказанные выводы, представлены такие эллипсы рассеяния при различных размерах поля зрения, отвечающие погрешности отдельного измерения. Эти фигуры должны быть, по крайней мере, раза в два меньше, чем пороговые различия, и потому точки внутри контура представляют собой цветности, заведомо не отличимые друг от друга в данных условиях наблюдения.

По мере уменьшения поля зрения эти области неотличимых цветностей расширяются, начиная уже с поля  $1,12^\circ$ . Они вытягиваются при этом все более по направлениям, нацеленным на ту область цве-

тогового графика, в которой должна быть локализована точка  $(x_c, y_c)$  физиологически основного „синего“ цвета (8).

4. Такое вытягивание всех эллипсов нельзя рассматривать иначе, как проявление постепенно возрастающей недостаточности цветоразличения, притом отвечающей понижению чувствительности „синего“ приемника, т. е. появлению тританомалии. Этот вывод находит себе подтверждение в упоминавшихся ранее работах Уиллмера и Райта (4) и Кенига (5).

В наших данных обнаруживается, таким образом, влияние на результаты колориметрических измерений наличия на fovea центрального дихроматического участка, когда поле зрения приближается к нему по своим размерам и когда, следовательно, роль этого участка в формировании стимула соответственно возрастает\*.

Уменьшение поля зрения вызывает общий рост погрешности по всем трем шкалам колориметра, т. е. по направлениям от цветовой точки  $(x, y)$  данного светофильтра к точкам  $K_0, Z_0, C_0$  трех основных цветов колориметра. Особенно большой рост наблюдается, когда соответствующая погрешность ориентирована вдоль линий, исходящих из точки, близкой к синему концу спектра. Они, как впервые показал Максвелл (9), являются линиями, органически не различаемых тританопом цветоностей. Наоборот, погрешности, ортогональные к этим „изохроматическим“ линиям тританопла, мало реагируют на уменьшение поля зрения.

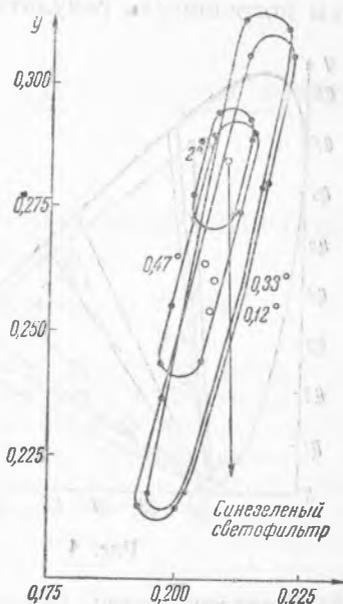


Рис. 2

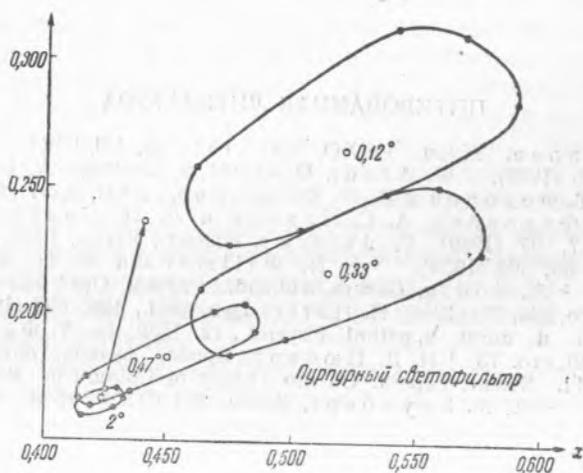


Рис. 3

На рис. 4 пунктиром показаны направления погрешностей измерения  $\Delta K, \Delta Z, \Delta C$ , а сплошными линиями — изохроматические направления тританопла.

5. Обращаясь к найденным нами сдвигам точек цветности  $(x_1, y_1)$ , сопутствующим уменьшению поля зрения, можно установить, что на

\* Мы считаем, что этому участку следует по справедливости дать имя Кенига, назвав его „foveola Koenigi“.

правления этих сдвигов ориентированы также в сторону физиологической основной „синей“ точки ( $x_c, y_c$ ), но знак сдвига у различных светофильтров не одинаков: для фиолетового и пурпурного сдвиги направлены прочь от „синей“ точки, а для других — прямо-противоположно, т. е. к ней. Эти сдвиги реальные, так как они много больше, чем погрешность результата.

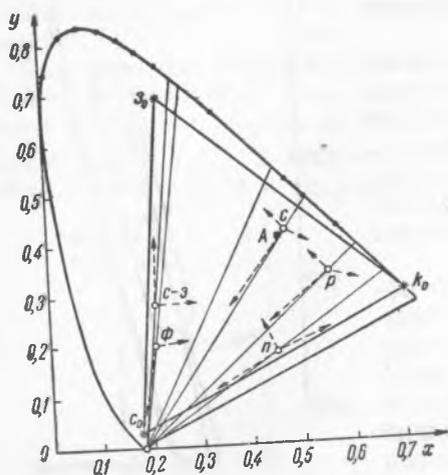


Рис. 4

Представляется, что решения вопроса надо ждать от гистологического исследования области fovea с применением новой микроскопической цветной техники, предложенной и разрабатываемой Е. М. Брумбергом<sup>(10)</sup>, которая имеет здесь благодарный случай показать свою эвристическую силу.

Поступило  
11 III 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> П. П. Лазарев, Журн. РФХО, физ. отд., 43, 161 (1911). <sup>2</sup> С. Runge, Physik. Z., 30, 76 (1929). <sup>3</sup> W. Arndt, Das Licht, 6, 75 (1936); A. Dressler, *ibid.*, 7, 81 (1937); Н. Т. Федоров и В. И. Федорова, ДАН, 2, 37 (1936); Н. Т. Федоров, В. И. Федорова, А. Г. Плахов и Л. П. Селецкая, Изв. АН СССР, ОТН, № 7, 97 (1939); P. Jainsky, Dissert., Berlin, 1938; J. S. Preston, Proc. Phys. Soc., 50, 398 (1938). <sup>4</sup> P. N. Willmer and W. D. Wright, Nature, 156, 119 (1945). <sup>5</sup> A. König, Gesam. Abhandl. Physiol. Opt., 353 (1903). <sup>6</sup> P. N. Willmer, Nature, 153, 774 (1944); Н. Hartridge, *ibid.*, 155, 657 (1945). <sup>7</sup> А. Kohlgausch, Handb. d. norm. u. pathol. Physiol., 12, 1539; Н. Т. Федоров, Общее цветоведение, 1939, стр. 75. <sup>8</sup> Н. Д. Нюберг, Пробл. физиол. оптики, 6, 42 (1948). <sup>9</sup> J. C. Maxwell, Scient. Papers. On the Theory of Colours in Relation to Colour Blindness, 1890. <sup>10</sup> Е. М. Брумберг, Вестн. АН СССР, № 8—9, 117 (1946).