

7. Dezhkunov N. V., Francescutto A., Kulak A. I., Iernetti G., Citi P. // Proc. II Int. Symp. of Cavitation. Tokyo, 1994. P. 207.
8. Sutin N. Bioorganic chemistry. Amsterdam; New York, 1971. V. 2. Ch. 19. P. 211.
9. Marcus R. A. // Ann. Rev. Phys. Chem. 1964. V. 15. P. 155.
10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика сплошных сред. М., 1954.
11. Perusich S. A., Alkire R. C. // J. Electrochem. Soc. 1991. V. 138, № 3. P. 700.

УДК 71. 023.7+778.33

Д. С. КОКТЫШ, Г. М. КОРЗУН,
С. К. РАХМАНОВ, В. В. БЕЛЕНКОВ

О ХАРАКТЕРЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКОНА ВЗАИМОЗАМЕСТИМОСТИ ПРИ СТАНДАРТНОМ И МОДИФИЦИРОВАННОМ ХИМИЧЕСКОМ ПРОЯВЛЕНИИ ГАЛОГЕНСЕРЕБРЯНЫХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

The investigation of the reciprocity law failure in the low exposure region using the standard and modified development of silver-halide photographic materials was carried out. The reciprocity failure is shown to be less pronounced in the case of modified development. This fact is due to involving into development process the sub-atomic latent image centres which are not developable by standard developer.

Более ста лет в фотохимии известен закон взаимозаместимости Бунзена — Роско, в соответствии с которым масса продукта, образующегося в результате фотохимических реакций, определяется только величиной поглощенной исходными компонентами световой энергии и не зависит от интенсивности и соответственно длительности воздействия светового излучения. Правилom для галогенсеребряных фотографических материалов, являющихся широко распространенным вариантом систем, в которых протекают указанные реакции, является отклонение от выполнения названного закона в области высоких и низких освещенностей, т.е. соответственно при коротком и длительном воздействии светового излучения. Последнее в галогенсеребряном эмульсионном слое определяется природой фотостимулированных процессов, приводящих к формированию относительно устойчивых образований типа малоатомных частиц серебра, которые способны катализировать процесс химического восстановления микрокристаллов галогенида серебра на экспонированных участках указанного слоя при его контактировании с раствором фотографического проявителя. На основании характера выполнения закона взаимозаместимости можно судить как об особенностях механизма процессов, приводящих к фотостимулированному формированию в эмульсионном слое каталитически активных центров, так и о минимальных размерах указанных центров при различных условиях фотографического проявления [1].

Цель данной работы состояла в выяснении на основании характера выполнения закона взаимозаместимости различий в дисперсности центров скрытого изображения, функционирующих в условиях стандартного метолгидрохинонового и модифицированного проявления, и в определении оптимальных условий экспонирования, обеспечивающих достижение максимального фотографического эффекта. Исследование характера выполнения закона взаимозаместимости в области низких освещенностей было проведено при использовании стандартного и модифицированного химического проявления. Модифицированный химический проявитель отличается от стандартного наличием более активных проявляющих веществ, ускорителей восстановления, антиуалентов [2—4] и обеспечивает значительное повышение чувствительности черно-белых галогенсеребряных материалов различного типа к действию светового и ионизирующего излучения за счет вовлечения в процесс формирования видимого изображения дополнительного числа эмульсионных микрокристаллов. В рамках данной работы использовалась рентгеновская меди-

цинская пленка РМ-1, предназначенная для применения с люминесцентными усиливающими экранами, изображение на которой формируется под действием светового излучения этих экранов.

Экспонирование пленки осуществлялось источником видимого света через фотозатвор с выдержками в интервале от $8 \cdot 10^{-4}$ до 5 с, в пределах которого эффект невзаимозаменяемости (НВЗ) низких освещенностей выражен достаточно отчетливо и который включает область выдержек, используемых в практике медицинской рентгенодиагностики. Ослабление светового потока достигалось применением нейтрально-серых светофильтров марки НС. Интенсивность светового потока измерялась фотоэлектрическим люксметром Ю-116. Химико-фотографическая обработка экспонированных образцов проводилась в пластиковых кюветах и заключалась в проявлении в течение 6 мин при 20 °С в проявителе «Рентген-2» [5] или модифицированном проявителе [2], промывке и фиксировании в фиксаже БКФ [5] и заключительной промывке. Опыты проводились не менее трех раз и случайная ошибка определения оптической плотности не превышала 10 %.

Основные результаты эксперимента представлены на рис. 1 в виде общепринятой графической зависимости $\lg Et$ от $\lg t$ (изоопак) для опорной оптической плотности $D=D_0+1,0$. Особенностью пленки РМ-1 является повышение ее чувствительности (снижение величины экспозиции, необходимой для получения $D=D_0+1,0$) с возрастанием освещенности как при проявлении в метолгидрохиноновом проявителе «Рентген-2», так и в модифицированном проявителе, т. е. эффект НВЗ имеет место во всем изучавшемся интервале экспозиций.

При проявлении в «Рентген-2» изоопак плавно уменьшается до времени экспонирования 0,06–0,1 с и круто уменьшается до выдержки $\sim 10^{-3}$ с. При уменьшении выдержки от 10 до 10^{-3} с величина экспозиции уменьшается с 0,35 до 0,06 лк · с.

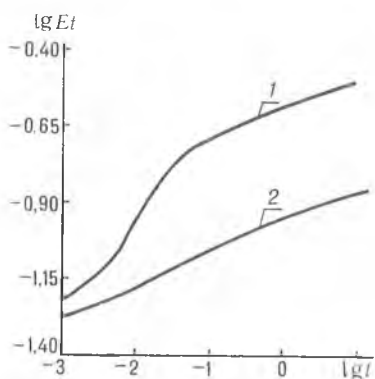
При проявлении пленки в модифицированном проявителе минимальная величина экспозиции, необходимой для получения оптической плотности, равной $D_0+1,0$, заметно понижается (более чем в 2 раза) по сравнению с метолгидрохиноновым проявителем. Величина экспозиции равна 0,13 лк · с в области 6–10 с и медленно уменьшается до величины 0,05 лк · с при выдержке 10^{-3} с.

Таким образом, основным отличием модифицированного проявления от метолгидрохинонового, помимо достижения более высокой чувствительности пленки [2,3], является меньшая величина эффекта НВЗ в указанном интервале значений t .

Связь между формой изоопак и минимальным размером центра проявления устанавливается уравнением изоопак [6]:

$$\frac{d \lg H}{d \lg t} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4\nu e^{-U/KT}}{N_0^2} t}} \right],$$

где N_0 — минимальное число атомов в проявляемом центре скрытого изображения; U — энергия, необходимая для выделения электрона или



Зависимость логарифма экспозиции $\lg Et$ от логарифма времени $\lg t$ для опорной оптической плотности $D=D_0+1$ пленки РМ-1 при проявлении в проявителе «Рентген-2» (1) или модифицированном проявителе (2)

иона серебра из предцентра; ν — частота тепловых колебаний решетки; H — величина экспозиции; t — время экспонирования; T — температура.

Поскольку величины ν , U , k , T являются в данном случае константами, изменение тангенса угла наклона изоопак с увеличением времени экспонирования связано с изменением N_0 . Увеличение наклона изоопак свидетельствует об увеличении минимального числа атомов в проявляемом центре скрытого изображения.

Большой угол наклона изоопак в области выдержек 10^{-3} – 10^{-1} с после проявления в метолгидрохиноновом проявителе, по сравнению с проявлением в модифицированном химическом проявителе, свидетельствует о том, что минимальный размер проявляемого центра скрытого изображения в первом случае заметно больше, чем во втором.

В пользу этого заключения свидетельствует и сам факт меньшей величины эффекта НВЗ низких освещенностей, достигаемой для рассматриваемой пленки при использовании модифицированного химического проявления по сравнению со стандартным. Действительно, в рамках существующих представлений [6] эффект НВЗ для низких освещенностей определяется частичной диссоциацией формирующихся в процессе экспонирования отдельных центров СИ до момента присоединения очередного фотоэлектрона. В этих условиях указанный выше факт означает, что часть малоатомных центров СИ участвует в процессе модифицированного химического проявления, но остается незадействованной при стандартном проявлении.

Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что повышение количества проявляемых микрокристаллов в модифицированном проявителе связано с вовлечением в процесс проявления микрокристаллов, содержащих малоатомные центры скрытого изображения, не проявляемые в метолгидрохиноновом проявителе типа «Рентген-2».

Заслуживающим внимание фактом является такая особенность пленки РМ-1, как не зависящее от условий химического проявления повышение чувствительности к действию светового излучения с возрастанием освещенности. Учитывая это обстоятельство, можно полагать, что величина экспозиционной дозы при медицинской рентгениягностике может быть заметно сокращена при повышении светосилы усиливающих люминесцентных экранов и снижении порогового времени срабатывания рентгеновской трубки.

1. Джеймс Т. Х. Теория фотографического процесса. Л., 1980.
2. Корзун Г. М., Шишко Г. В., Рахманов С. К. // Весті АН РБ. 1993. № 2. С. 104.
3. Рахманов С. К., Сташенок В. Д. // Журн. науч. и прикл. фотограф. и кинематограф. 1991. Т. 36. № 4. С. 282.
4. Кисель Л. Ф., Врублевский А. В., Рахманов С. К. и др. // Там же. 1993. Т. 38. № 1. С. 3.
5. Румянцев С. В. Радиационная дефектоскопия. М., 1974.
6. Мейкляр П. В. Физические процессы при образовании скрытого фотографического изображения. М., 1972.