

2.3 Фотоматериалы

В России в промышленном масштабе выпускаются фотоматериалы типа РМ (в основном для медицинской рентгенографии) и РТ (для промышленной дефектоскопии и регистрации β -, γ - и рентгеновского излучений), а также МК, предназначенные для получения автордиограмм высокого разрешения.

В качестве примера приведём химический состав сухого эмульсионного слоя эмульсий Радиевого института П9 и ПР-2 (значения в скобках), % (по массе): Ag 45,9 (42,0); Br+I 34,0 (31,1); С 7,5 (10,9), Н 1,5 (1,8); О 8,3 (10,4); S 0,08 (0,1); N 2,7(3,7); H₂O 2,81(4,41).

Основные требования к фотоматериалу следующие: а) максимальная однородность кристаллов по размерам, составу, форме, чувствительности и т.д.; б) минимальный размер кристаллов (что обеспечивает максимальную разрешающую способность); в) высокая предельная чувствительность, т.е. способность регистрации частиц с минимальной ионизирующей способностью, которая снижается в ряду α -частицы – протоны - β -частицы, а для однотипных частиц тем выше, чем ниже энергия; г) стабильность свойств при хранении, воспроизводимость от партии к партии, минимальная регрессия (распад центров чувствительности из-за окисления и термических флуктуаций).

Ядерные эмульсии производят в виде пластинок или плёнок с толщиной эмульсионного слоя 5-25 мкм (иногда 0,6-0,7 мкм) для контактной автордиографии, в виде слоёв толщиной 4-11 мкм на подложке, иногда с желатиновым подслоем для методики съёмного слоя, в виде геля для автордиографирования поливом эмульсии и электронно-микроскопической автордиографии.

Количественной характеристикой степени почернения фотослоя, т. е. количества серебра, выделившегося при проявлении на единице его площади, служит величина оптической плотности D фотослоя, определяемая по уравнению:

$$D = \lg \frac{I_0}{I} = 0,43n\bar{a} \quad (1)$$

где I_0 и I - интенсивности светового пучка, падающего на фотографическое изображение и прошедшего через него соответственно, n – число зёрен на квадратный сантиметр, и \bar{a} - среднее поперечное сечение зерна; D и n связаны с экспозицией экспоненциальными выражениями. Для умеренных значений их можно считать пропорциональными экспозиции.

Отношение I_0/I называется непрозрачностью данного фотографического изображения. При воздействии на фотоэмульсию радиоактивного излучения количество серебра, выделяющегося при проявлении на единице площади фотослоя, пропорционально интенсивности излучения, попавшего в фотослой за время t . Следовательно, мерой интенсивности I ионизирующего излучения, попадающего на фотоэмульсию за данное время t , будет величина оптической плотности D проявленной автордиограммы

$$D \sim It \quad (2)$$

Величины оптических плотностей автордиограмм измеряют с помощью денситометра, микрофотометра и других подобных приборов.

Коротко остановимся на основных параметрах фотоматериала.

Вуаль. Вуаль представляет собой некоторую оптическую плотность D_0 фотоматериала, возникающую в результате восстановления галоидного серебра фотослоя без воздействия радиоактивного излучения данного образца. Вуаль - это своеобразный «фон» фотоэмульсии, который в зависимости от ее типа и условий хранения может изменяться от нуля до 0,2-0,3 единиц D . Большее значение величины D_0 указывает на недоброкачество фотоматериала.

Контрастность. Контрастность получаемых изображений характеризуют наклоном прямолинейного участка характеристической кривой относительно оси абсцисс или, что то же, величиной коэффициента контрастности, обозначаемого буквой γ и определяемого как тангенс угла α наклона этой кривой к оси абсцисс:

$$\gamma = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta D}{\Delta \lg I} \quad (3)$$

Чем больше γ , т. е. чем большие приращения оптической плотности ΔD соответствуют одинаковым приращениям интенсивности $\Delta \lg I$, тем более контрастен фотоматериал, тем лучше он выявляет детали на автордиограмме. Обычно величину коэффициента контрастности γ фотоматериала указывают на упаковочной коробке.

Чувствительность. В автордиографии детектором излучения обычно является ядерная эмульсия, входным сигналом – плотность потока достигающих её частиц, а выходным – плотность проявленных кристаллов. Естественно определить чувствительность эмульсионного слоя как отношение выходного сигнала к входному. Чувствительность стремится к нулю с ростом толщины образца, так как всё большая доля частиц

не достигает эмульсии из-за ограниченности пробега. Очевидно, однако, что с ростом толщины образца плотность проявленных кристаллов растёт, достигая насыщения, т.е. возможности автордиографической регистрации отнюдь не ухудшаются.

Чувствительность S фотоматериала определяет его способность образовывать фотографическое изображение под действием ионизирующего излучения (чувствительность к излучению) или под действием света (светочувствительность). Чувствительность фотоматериала тем выше, чем меньшее экспонирование требуется от источника постоянной интенсивности для образования определенной плотности почернения.

Чувствительность фотоматериала к β -частицам определяют как величину, обратную числу β -частиц N , приходящихся на 1 см^2 , необходимых для создания определенной оптической плотности фотослоя. Для создания почернения, заметно отличающегося от вуали (фона), необходимо, чтобы на обычные фотоэмульсии попадало в среднем $10^8 - 10^7$ частиц/см².

Следует отметить, что чувствительность данного фотоматериала не остается постоянной с изменением максимальной энергии β -частиц. С ростом $E_{\text{макс}}$ для очень мягких излучений чувствительность растёт, достигает максимума и затем падает. Чувствительность фотоэмульсий к γ -квантам имеет такие же особенности, как и к β -частицам. Лишь эффективность фотографического действия фотонов по сравнению с эффективностью действия β -частиц значительно меньше и составляет всего 0,1-1,0%.

Дополнительным способом повышения чувствительности является введение сцинтиллятора, позволяющее избирательно повысить чувствительность к β -излучению определённого изотопа.

Чувствительность существенно понижается при уменьшении температуры. Это необходимо учитывать при экспонировании при пониженных температурах.

Фотоматериалы изменяют чувствительность к γ -квантам при изменении их энергии. В практической дозиметрии это явление получило название «ход с жесткостью». Оно состоит в том, что с увеличением жесткости γ -излучения доза, необходимая для создания оптической плотности определенной величины, не остается постоянной, изменяясь сложным образом.

При характеристике фотоматериала большое значение имеют также размер зерен галоидного серебра, концентрация галоидного серебра и толщина фотографической эмульсии.

Предельную чувствительность фотоматериала характеризуют следующим образом: классы 0 и 1 (только α -частицы); класс 2 (мягкое β -излучение ^3H и ^{125}I); классы 3 и 4 (β -излучение ^{14}C и ^{35}S); классы 5 релятивистские β -частицы).

Заметим, что изменение одного из параметров автордиографического эксперимента, приводящее к увеличению чувствительности, сопряжено с некоторым ухудшением разрешающей способности. Причина заключается в том, что получение максимального выхода проявленных кристаллов на одну частицу обеспечивается проявлением кристаллов, экспонированных частицами жесткой области спектра (с большим пробегом), и кристаллами с малыми (близкими к вуали) центрами проявления, а это приводит к усилению автордиографического размытия – увеличению размеров изображения по сравнению с размерами объекта.

Малая чувствительность эмульсий к рентгеновскому и γ -излучению снижает круг изотопов, пригодных для автордиографического исследования. Кроме того, необходимость экспозиции и фотографической обработки эмульсионного материала не позволяет исследовать перераспределение изотопа синхронно в реальном масштабе времени. Предприняты попытки устранить эти ограничения, применяя в качестве детектора сцинтиллятор.

Размер зерен галоидного серебра. С размером зерен галоидного серебра связана одна из важнейших характеристик фотографических слоев - разрешающая способность. В макроавтордиографии под разрешающей способностью фотоматериала обычно понимают максимальное число раздельно передаваемых фотоматериалом параллельных штрихов, приходящихся на 1 мм. Термином «штрих» в данном случае обозначают совокупность линии и промежутка одинаковой ширины. Величину разрешающей способности указывают числом линий на 1 мм изображения.

Обычно мелкозернистые фотоэмульсии имеют высокую разрешающую способность, но чувствительность таких фотослоев низкая. Крупнозернистые фотоматериалы, наоборот, обладают невысокой разрешающей способностью, но хорошей чувствительностью. Это заставляет в каждом конкретном случае применения макроавтордиографического метода решать, какое из указанных качеств (разрешающая способность или чувствительность) будет способствовать получению наилучших результатов и соответственно с этим выбирать фотографический материал.

Концентрация галоидного серебра. Слой фотоэмульсии представляет собой взвесь кристаллов галоидного серебра в желатине. Очевидно, при малой концентрации галоидного серебра фотослой будет существенно негетогенным. При регистрации ионизирующего излучения таким фотослоем некоторые частицы или кванты могут попасть в участки чистой желатины. Подобное нежелательное явление уменьшают путем повышения концентрации галоидного серебра в фотографическом слое. Так, если обычные фотоэмульсии

имеют около 40 вес. % галоидного серебра, то рентгеновские пленки - уже 50-60 вес. %, а ядерные 83-85 вес. %, что при весьма малых размерах кристаллов позволяет добиться хорошей гомогенности фотослоя.

Толщина фотоэмульсии. Разрешающая способность фотоэмульсии повышается с уменьшением ее толщины. Наименьшей толщиной фотослоя, а, следовательно, наивысшей разрешающей способностью характеризуются ядерные фотопластинки, поэтому с их помощью достигается наиболее высокая степень дискриминации радиоактивных включений.