

Кулинич О. А., Садова Н. Н., Лисецкий Л. Н., Глауберман М. А., Садова Г. В., Сазонов А. Н.

Учебно-научно-производственный центр при Одесском госуниверситете
им. И.И. Мечникова**БИОЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ДЕТЕКТОР ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

Работа посвящена проблеме создания нового типа биоэквивалентного детектора слабых ионизирующих излучений, чувствительного к низким (на уровне 0,1 мР) дозовым нагрузкам гамма-облучения, с адекватным учетом его биологического воздействия. Задача условно разделена на две части. Исследования направленные на выяснение механизма радиационно-стимулированных эффектов в биологических и биоэквивалентных тканях при малых поглощенных дозах γ -излучения. Обоснование и выбор активной биоэквивалентной среды. Во второй части дано описание функциональных способностей предлагаемого детектора.

Проблему создания биоэквивалентного детектора ионизирующих излучений можно условно разделить на две задачи: исследование и обоснование выбора активной биоэквивалентной среды детектора и компоновка этой среды с уже известными детекторами.

Для решения первой задачи необходимо было выявить механизмы радиационных потерь в биологических средах на уровне клеточных структур разной степени интеграции, когда их фазовое состояние близко к *in vivo*. Это непосредственно связано с задачей прямого определения малых поглощенных доз γ -излучения с адекватным учетом его биологического воздействия. Сложность этой проблемы связана с тем, что при малых дозовых нагрузках радиационно-стимулированные процессы ионизации в биологических тканях сопровождаются не только известными процессами ионизации, но и другими типами перехода энергии, которые связаны с формированием возбужденных молекулярных состояний и обратимых изменений в сложной структуре органических молекул [1]. Эти процессы могут быть решающими. Однако, все существующие детекторы не реагируют на ту часть энергии, которая переходит в энергию возбужденных молекулярных состояний. С другой стороны, структурные и функциональные изменения, которые происходят в живых организмах в слабых радиационных полях, не могут быть вполне понятны из стандартных биохимических исследований поврежденных тканей или экстраполяцией результатов, которые получены на живых организмах, облученных большими дозами. Вот почему нами были предприняты исследования радиационно-стимулированных эффектов в биологических тканях и модельных структурах при малых поглощенных дозах γ -излучения.

Исследовались модельные мембранные струк-

туры на основе водных дисперсий яичного лецитина. В качестве природных мембран были использованы гомогенат печени крысы и тени эритроцитов.

Облучение образцов проводилось источником γ -излучения на базе Cs-137, Co-57, Am-241, активность которых имеет значения приблизительно 10^5 — 10^8 Бк. Изменения спектрометрического отклика оценивались по изменению термодинамических, оптических и электрических свойств систем: смещение по температуре и изменение формы пиков нематико-изотропного фазового перехода полученных с помощью ДСК, смещение края полосы селективного пропускания, изменение в некоторых полосах ИК, УФ-спектров. ДСК термограммы регистрировались с помощью термоаналитической системы "Mettler TA-3000" в режиме нагревания и охлаждения при скоростях сканирования (0,5—5 К/с). УФ-спектры, а также спектры селективного пропускания снимались с помощью спектрофотометра "Hitache-330" в области 0,2—2,5 мкм. ИК-спектры на спектрофотометре "Specord M-80".

Анализ исследований показал, что при малых дозах, когда вклад от традиционного ионизационного механизма еще незначительный, наблюдаются радиационно-индуцированные изменения молекулярной структуры (например, цис-транс-переходы в азометинах). При этом модельные системы (облучение дозами порядка 0,1—1 мР) дают четко выраженный детектируемый восстанавливающийся отклик, который вызывается структурными изменениями анизометричных молекул. Изменения в эффективной форме анизометричных молекул приводят, в свою очередь, к изменению мезоморфных свойств. Измерения УК-спектров показали, что смещение полосы селективного пропускания для композиции с добавкой хиральной смеси при облучении радионуклидом Am-241 (мощность дозы 0,708 Р/час) больше 30 нм. С до-

пушениями о транс-цис-изометрии согласуются также данные ИК-спектроскопии — после облучения в спектре наблюдается изменение формы полосы 1575 см^{-1} , которая в соответствии с общепринятыми понятиями, связана с колебаниями всей сопряженной системы. Расщепление полос (1573 см^{-1} и 1576 см^{-1}), которое наблюдается при узких щелях ($1,5\text{—}0,5\text{ см}^{-1}$) связано, очевидно, с присутствием цис-и транс-изомеров. Таким образом, рядом с разрывом химических связей существенное значение имеют альтернативные механизмы радиационных потерь энергии в органических веществах, которые связаны с возникновением возбужденных молекулярных состояний при обратимой перестройке структуры анизометричных молекул, что проявляется в мезоморфных свойствах.

На основе результатов исследований в качестве активной биоэквивалентной среды выбраны мембранные структуры на основе водных дисперсий яичного лецитина.

Решение второй проблемы тоже представляет определенный интерес. В работе предлагается описание функциональных способностей детектора ионизирующих излучений на основе системы "активная биоэквивалентная среда (водный раствор яичного лецитина) — полупроводниковое устройство (фотодиод), регистрирующей мощность дозы ионизирующего излучения в широком диапазоне".

Детектор состоит из собственно датчика типа "активная биоэквивалентная среда — фотодиод" и предварительного усилителя.

В качестве фотодиода использовались р-и-п структуры. Источником γ -излучения являлись изотопы Cs-137 ($A = 10^5$ Бк). Экранировка от фонового солнечного и β -излучений осуществлялась алюминиевой фольгой толщиной $0,1 \cdot 10^{-3}$ м, расположенной на расстоянии $3 \cdot 10^{-2}$ м от источника γ -излучения.

Усиление электрических сигналов осуществлялось при помощи предварительного усилителя (рис. 1), который должен обеспечивать необходимое соотношение сигнал-шум, так как именно дат-

чиком совместно с первыми каскадами определяется предел энергетического разрешения, достигнутый данным видом датчика. Частотная характеристика предварительного усилителя согласовывалась с частотной характеристикой импульса датчика, чтобы пропускать весь спектр полезного сигнала. Усилитель выбирался линейным в широком динамическом диапазоне, а амплитуда его выходного сигнала подбиралась такой, чтобы слабо зависеть от формы импульса напряжения. Так как датчик обладает высоким внутренним сопротивлением ($\sim 10^8$ Ом), то предварительный усилитель должен обладать большим входным сопротивлением. В общем случае, обратный смещенный фотодиод представляет собой конденсатор с некоторой емкостью, которая оказывает значительное влияние на характеристики предусилителя: увеличивает энергетический эквивалент шума на выходе, снижает быстродействие, стабильность и чувствительность. Поэтому для снижения влияния емкости фотодиода на параметры предусилителя применялась схема компенсации емкости фотодиода. При этом эквивалентная емкость фотодиода становилась меньше его собственной в $1/1 - K_n$ раз, где K_n — коэффициент передачи по напряжению истокового повторителя. Такая схема включения датчика значительно увеличивала выходной сигнал и снижала влияние емкости на вклад последовательных шумов, и как следствие, увеличивала отношение сигнал-шум всего усилителя. Используемый в данной работе предварительный усилитель обладал следующими характеристиками: коэффициент усиления — 10^4 ; уровень шума — 1 мкВ ; неравномерность частотной характеристики в диапазоне $10\text{—}100\text{ кГц}$ не более 3 дБ ; динамический диапазон — 10^3 .

Активная биоэквивалентная среда представляла собой мембранные структуры на основе водных дисперсий яичного лецитина. Толщина жидкокристаллического элемента определялась рядом факторов: эффективностью регистрации γ -излучения и энергетической зависимостью эффективно-

сти. Расчеты, проведенные для водного раствора яичного лецитина, показали, что оптимальная толщина активной биоэквивалентной среды, при которой эффективность будет максимальной, лежит в пределах $(0,05\text{—}0,5) \cdot 10^3$ м. Следует отметить, что выбранная жидкокристаллическая среда выгодно отличается от других отсутствием после свечения и высокой чувствительностью к γ -излучению. Кроме того, типовые ДСК-термограммы дают в

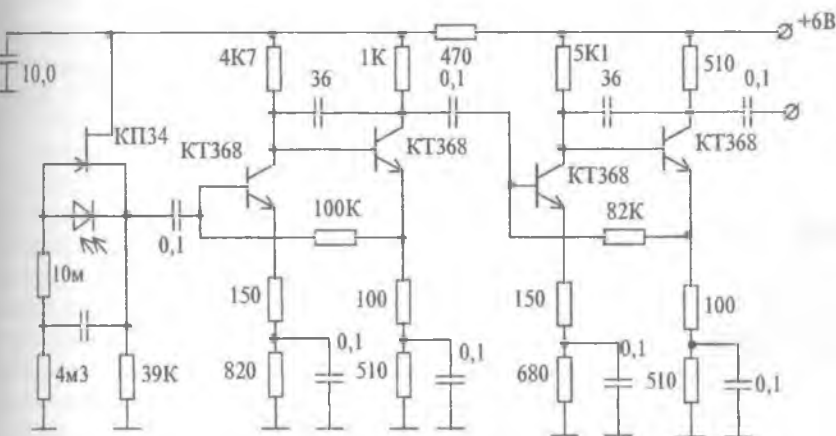


Рис. 1. Принципиальная схема предварительного усилителя

Таблица 1

Измеренные числа отсчетов прибора
(а — при наличии жидкокристаллического вещества;
б — “холостое” измерение)

	№ п/п	Число отсчетов	№ п/п	Число отсчетов	№ п/п	Число отсчетов
а	1	1835	11	1801	21	1787
	2	1852	12	1770	22	186
	3	1801	13	1802	23	1802
	4	1776	14	1803	24	1875
	5	1784	15	1848	25	1812
	6	1750	16	1768	26	1821
	7	1821	17	1853	27	1873
	8	1809	18	1775	28	1875
	9	1751	19	1763	29	1727
	10	1819	20	1919	30	1852
б	1	1633	6	1709	11	1618
	2	1628	7	1617	12	1665
	3	1680	8	1662	13	1611
	4	1705	9	1694	14	1660
	5	1624	10	1603	15	1592

Таблица 2

Результаты статистической обработки

№ п/п	Количество величин	Среднее арифмети- ческое	Средне- квадратич- ное откло- нение	Квадрат средне- квадр. от- клонения
1	30	1814	46,41	2153,72
2	15	1646,73	38,08	1450,49

области нематико-изотропного смещения ΔT , которое коррелирует с мощностью экспозиционной дозы. В диапазоне 1—10 мкР эта зависимость близка к линейной, а именно отношение $\eta = \Delta T/D$, которое имеет значение дозовой чувствительности или эффективности, — постоянно. После прекращения облучения наблюдается инерционный набор откликов. Для экспозиции не менее 20 минут изменение мощности источника на два порядка (0,3 или 33 мР/час) приводит к значениям отклика близким к значениям, которых достигает отклик при выходе на насыщение после релаксации (около 48 часов). При небольшом времени экспозиции (30 секунд) насыщение достигается при существенно меньшей величине отклика уже через 5 часов. Далее наблюдается релаксация образца к состоя-

нию близкому к исходному. Таким образом, отклик радиочувствительной жидкокристаллической среды формирует на выходе детектора сигнал в виде импульса, амплитуда которого пропорциональна потере энергии γ -квантов в среде. Выходной сигнал в виде последовательных одиночных импульсов микросекундной длительности проходит аналоговую обработку детектирующим трактом до момента преобразования амплитуд в цифровой код.

Таким образом, на практике измеряется суммарное число отсчетов, соответствующее регистрируемому от Cs-137 γ -излучению и регистрируемому от жидкокристаллического вещества вторичному излучению. Другое измерение (“холостое”) проводится аналогичным образом в той же геометрии, только без слоя жидкокристаллического вещества, при этом регистрируемое число отсчетов соответствует γ -излучению от Cs-137. Разница в числе отсчетов первой и второй серии измерений относится к процессу получения полезного сигнала. Результаты измерений приведены в таблицах 1, 2.

Анализируя результаты, можно сделать следующие выводы:

— при облучении модельных систем дозами порядка 0,1—1 мР они дают четко выраженный детектируемый и восстанавливающийся отклик, связанный со структурной перестройкой анизометричных молекул;

— увеличение дозовых нагрузок приводит к выходу функции отклика на насыщение;

— радиочувствительность зависит от мощности дозы, а радиационный отклик растет по мере уменьшения мощности дозы при фиксированной дозе облучения (для достаточно длительного времени облучения);

— число отсчетов пропорционально величине дозы.

Предлагаемый детектор пригоден к регистрации мощности дозы в широком диапазоне.

Литература

1. Прістер Б. С., Борзенко В. М., Лисецький Л. М. // Тези доповідей II з'їзду Українського біофізичного товариства, Харків, Україна, 29 червня — 3 липня 1998. — С. 97.