

# ИЗУЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ И ВЛИЯНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

*В.Г. Сенчишин*

*Харьковский госуниверситет,*

*пл. Свободы 4, 310077 г. Харьков, Украина*

Для детекторов элементарных частиц высокой энергии разработан и изготовлен новый пластмассовый сцинтиллятор на основе полистирола UPS-97GC. Рассмотрено влияние  $\gamma$ -облучения на сцинтилляционные и оптические характеристики сцинтиллятора. До и после облучения измерялись длина затухания, световой выход и спектр люминесценции сцинтиллятора. Проведено срав-

нение свойств сцинтиллятора UPS-97GC со свойствами сцинтиллятора SCSN-81, выпускаемого фирмой Kuraray. Показано, что при ожидаемой мощности дозы для проектируемых детекторов элементарных частиц от 0,04 до 0,4 Мрад/год сцинтилляторы UPS-97GC не будут уступать по уровню сцинтилляционных характеристик сцинтилляторам SCSN-81.

Типичные установки для экспериментов физики высоких энергий выполняют одновременно детектирование, измерение и идентификацию многих частиц. Поэтому они обычно состоят из нескольких типов детектирующей техники. Компоненты детекторов должны стабильно работать в условиях постоянного облучения частицами, рождающимися на пучках суперколлайдеров высокой интенсивности. Для калориметрии частиц высокой энергии в качестве детекторов используются сцинтилляторы на основе полистирола. Размеры используемых сцинтилляторов изменяются от  $0.4 \times 10 \times 20$  до  $0.4 \times 20 \times 40$  см<sup>3</sup>. Их наиболее важными характеристиками являются световой выход и длина затухания света в материале сцинтиллятора. Нами разработан новый сцинтиллятор UPS-97GC на основе полистирола содержащий следующие сцинтилляционные добавки р-терфенил (1.5 % РТР) и 1,4-ди-[-2-(5-фенилоксазолил)]-бензол (РОРОР, 0.02 %). Зарубежным аналогом разработанного нами сцинтиллятора является сцинтиллятор SCSN-81, выпускаемый фирмой Kuraray [1]. Сцинтиллятор SCSN-81 обладает высоким световым выходом, прозрачностью и радиационной стойкостью. В настоящее время он применяется в качестве детектора во многих установках [1-3]. Сцинтиллятор UPS-97GC по уровню сцинтилляционных характеристик не уступает полистирольному сцинтиллятору SCSN-81: значения длины затухания и светового выхода для UPS-97GC  $L_0=45$  см,  $I_0=6$  мкА, а для SCSN-81  $L_0=35$  см,  $I_0=5$  мкА соответственно. Значение длины затухания детектора должно оставаться на уровне линейных размеров пластин сцинтиллятора (30-40 см) в течение времени эксплуатации от 5 до 10 лет [1,2]. Ожидаемая мощность дозы для проектируемых калориметров от 0.04 до 0.4 Мрад/год. Для обеспечения необходимого уровня оптических и сцинтилляционных свойств в течение всего времени эксплуатации сцинтилляторы должны обладать достаточно высокой радиационной стойкостью.

Для изучения радиационной стойкости сцинтилляторов UPS-97GC и сравнения с SCSN-81 были изготовлены образцы размерами  $0.4 \times 2 \times 22$  см<sup>3</sup>. Сцинтилляционные свойства образцов измерялись до и после облучения. Измерения проводились согласно следующей методике. Образец одним торцом приводился в оптический контакт с колбой фотоумножителя (ФЭУ) на вазелиновом масле. Эта часть образца заворачивалась в полоску черной бумаги шириной 20 мм для устранения отражения света от колбы ФЭУ. К противополож-

ному от ФЭУ торцу образца прикреплялась черная бумага на вазелиновом масле для поглощения обратно-отраженного света. Сцинтилляции возбуждались источником  $\beta$ -излучения  $^{90}\text{Sr}$  (коллиматор 1.8 мм), который перемещался вдоль полоски с шагом 1 см. Кривая затухания света в материале образца получалась при измерении величины анодного тока фотоумножителя ( $I$ ) в зависимости от расстояния источника ( $x$ ) от ФЭУ. Экспериментальные точки аппроксимировались формулой  $I = I_0 \exp(-x/L_0)$ , получалась длина затухания в материале сцинтиллятора  $L_0$  (в см) и световой выход  $I_0$  (в мкА). Наряду со сцинтилляционными характеристиками измерялись спектры люминесценции сцинтилляторов. Спектры люминесценции для сцинтилляторов UPS-97GC и SCSN-81 до облучения приведены на Рис. 1.

Облучение образцов проводилось на  $\gamma$ -установке "Исследователь" (ХГУ) от источника  $^{60}\text{Co}$  на воздухе, при температуре 20 °С. Мощность  $\gamma$ -излучения составляла 0.25 Мрад/час, энергия  $\gamma$ -квантов 1.3 МэВ. Время накопления первой дозы 1 Мрад — 35 часов, второй 4 Мрад — 135 часов.

При накопленной дозе 1 Мрад значение длины затухания непосредственно после облучения составляет: UPS-97GC - 35% и SCSN-81 - 45% от первоначального значения  $L_0$  Рис. 2. В течение 150 часов после облучения при хранении образцов при нормальных условиях

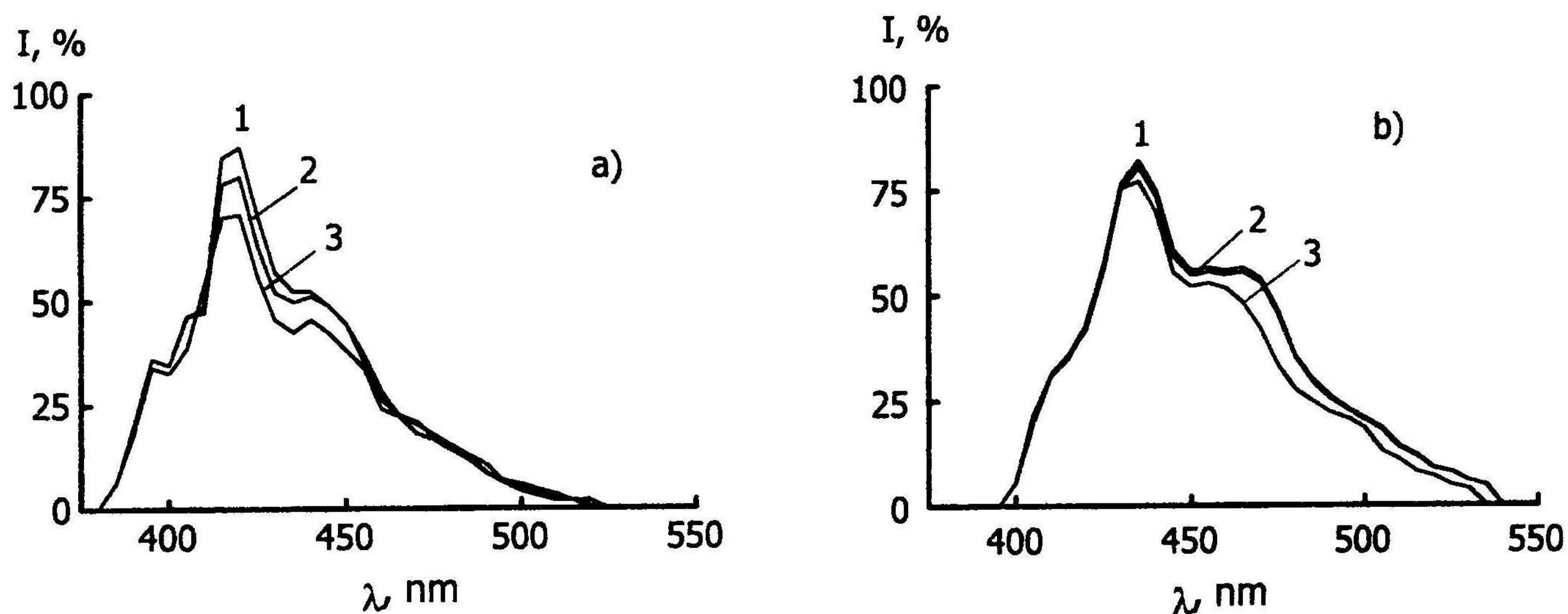


Рис. 1. Спектры люминесценции сцинтилляторов а) UPS-97GC, б) SCSN-81 перед облучением (1) и непосредственно после облучения при накопленных дозах 1 Мрад (2) и 4 Мрад (3)

происходит увеличение значения длины затухания. При дальнейшем хранении значение длины затухания в пределах ошибки перестает изменяться и составляет для обоих образцов 60 % от  $L_0$ . Непосредственно после облучения световой выход для обоих образцов составляет порядка 80% от первоначального значения  $I_0$ . Процесс восстановления длится порядка 200 часов, световой выход образцов после восстановления составляет порядка 95% от  $I_0$  Рис. 3. Происходит уменьшение амплитуды сигнала люминесценции для образцов UPS-97GC в интервале длин волн от 300 нм до 450 нм (Рис. 1а), для образцов SCSN-81 изменение спектра люминесценции в пределах погрешности практически не происходит (Рис. 1б).

После  $\gamma$ -облучения до поглощенной дозы 4 Мрад значение длины затухания образцов UPS-97GC составляет 18%, а для образцов SCSN-81 38% от первоначального значения  $L_0$ . Процесс восстановления длится 300 часов, значение длины затухания обоих образцов после восстановления порядка 43% от  $L_0$  Рис. 2. Световой выход образцов сразу после облуче-

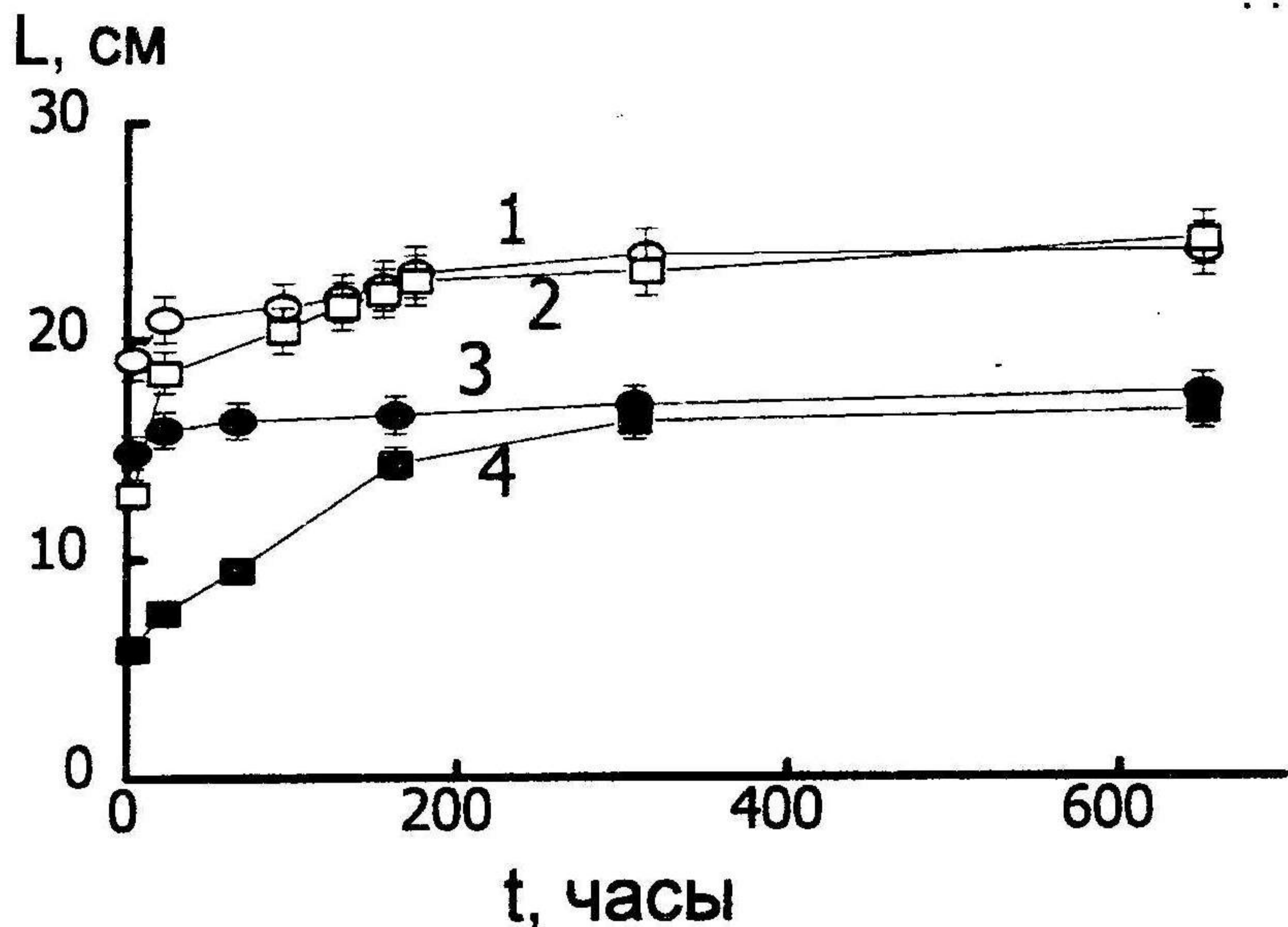
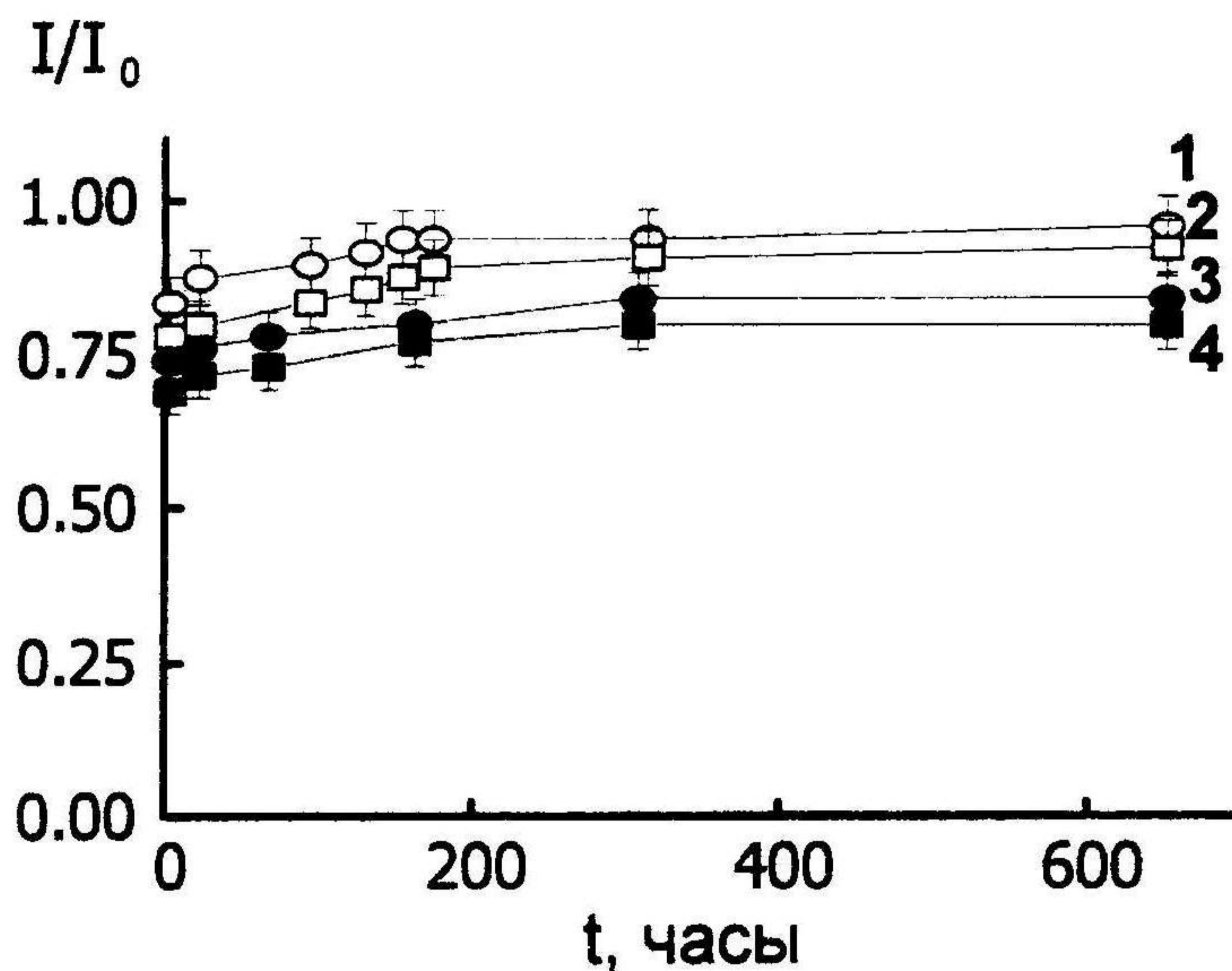


Рис.2. Восстановление значения длины затухания  $L$  со временем после облучения: при накопленной дозе 1 Мрад SCSN-81 (1), UPS-97GC (2); при накопленной дозе 4 Мрад SCSN-81 (3), UPS-97GC (4).

Рис.3. Восстановление относительного значения светового выхода  $I/I_0$  со временем после облучения: при накопленной дозе 1 Мрад SCSN-81 (1), UPS-97GC (2); при накопленной дозе 4 Мрад SCSN-81 (3), UPS-97GC (4)



ния составляет 70% от  $I_0$ , восстановление длится 300 часов, после восстановления световой выход находится на уровне 85% от  $I_0$  Рис. 3. Происходит значительное изменение спектра люминесценции, как для образцов UPS-97GC так и SCSN-81 (Рис. 1), наблюдается существенное уменьшение амплитуды сигнала люминесценции для рассматриваемого интервала длин волн.

Изменение оптических и сцинтилляционных характеристик детекторов связано с образованием под действием ионизирующего излучения промежуточных активных частиц - возбужденных состояний молекул, заряженных частиц, свободных радикалов и др. [4] Наиболее интенсивной и влияющей на оптические свойства является реакция рождения радикалов [5,6]. Согласно [4] радиационно-индуцированные радикалы поглощают свет в ближней ультрафиолетовой и видимой областях спектра. Их спектр поглощения зависит от накопленной дозы, при дозе 1 Мрад радикалы поглощают излучение в интервале длин волн от 250 до 450 нм, а при дозе 4 Мрад от 250 до 550 нм [7,8]. Спектр поглощения радикалов перекрывается со спектром излучения сцинтиллятора, расположенным в интервале длин волн от 370 до 550 нм. Радиационно-индуцированные поглотители препятствуют излучательному переносу энергии и приводят к уменьшению длины затухания, Рис 2. Из сравнения кривых 1,2 и 3,4 на Рис.2 можно заключить, что изменение значения длины затухания непосредственно после облучения для сцинтилляторов UPS-97GC больше, чем для SCSN-81. Различия, вероятно, связаны с отличием спектров излучения сцинтилляторов. Спектры люминесценции похожи Рис.1, но максимум спектра для SCSN-81 соответствует большей длине волны люминесценции - 435 нм, чем для образцов UPS-97GC - 420 нм. Спектр излу-

чения сцинтилляторов UPS-97GC сильнее перекрывается со спектром поглощения радиационно-индуцированных поглотителей. В результате чего наблюдаемое изменение спектра люминесценции Рис.1 и длины затухания Рис.2 для сцинтиллятора UPS-97GC при всех дозах больше, чем для сцинтиллятора SCSN-81.

Наряду с появлением радиационно-индуцированных поглотителей при облучении происходит деструкция сцинтиллирующих добавок. В результате этих двух процессов изменяется световой выход. Из данных полученных в пострадиационный период следует, что изменение относительного светового выхода у сцинтилляторов UPS-97GC и SCSN-81 примерно одинаково при всех дозах Рис.3. Таким образом можно заключить, что сцинтиллятор UPS-97GC, имевший высокое значение светового выхода до облучения, после облучения будет обладать световым выходом, не хуже чем SCSN-81.

Процесс восстановления связан с окислением радикалов кислородом воздуха растворенным и диффундирующим в макромолекулярную матрицу образца, а также рекомбинацией радикалов. Образовавшиеся соединения и остаточные повреждения определяют величину оптических и сцинтилляционных характеристик детектора после восстановления [7-9]. Значения светового выхода и длины затухания сцинтилляторов UPS-97GC и SCSN-81 после восстановления находятся на одном уровне в пределах погрешности. Мощность дозы, которая ожидается в проектируемых детекторах элементарных частиц для ускорителя LHC [1,2] составляет от 0.04 до 0.4 Мрад/год. Таким образом, мощность дозы при которой проводятся испытания значительно больше той мощности при которой будут эксплуатироваться сцинтилляторы. Время необходимое для накопления дозы ~1 Мрад составляет от 2 до 5 лет. В течение этого времени наряду с процессами деструкции будут протекать процессы восстановления. Сцинтилляторы UPS-97GC в данных условиях не будут уступать по уровню сцинтилляционных и оптических характеристик сцинтилляторам SCSN-81.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Hasegawa T., Hazumi M., Kasai S. et al.* Tests of new polystyrene-based scintillators // Nucl. Instr. and Meth.. 1992. **A311**. P. 498-501.
- [2] ATLAS, Letter of Intent for a General-Purpose pp Experiment at the Large Hadron Collider at CERN, CERN/LHCC/92-4, October 1992.
- [3] Letter of Intent by the CMS Collaboration for a General Purpose Detector at the LHC, Technical Proposal, CERN/LHCC/92-3, October 1992.
- [4] *Милинчук В. К., Тупиков В. И., Брускман Б. А.*, Радиационная стойкость органических материалов: Справочник, М.: Энергоатомиздат 1986. 520 с.
- [5] *Wick K., Paul D., Schroder P.* Recovery and dose rate dependence of radiation damage in scintillators, wavelength shifters and light guides // Nucl. Instr. and Meth. 1991. **B61**. P. 473-478.
- [6] *Dole M.* The radiation chemistry of macromolecules. Academic Press. New York and London. 1972. 325 p.
- [7] *Bross A. D., Pla-Dalmau A.* Radiation damage of plastic scintillators // preprint FERMILAB-Pub-91/308. 1991. P. 3-7.
- [8] *Bross A. D., Pla-Dalmau A.* Radiation-induced hidden absorption effects in polystyrene based plastic scintillator // preprint FERMILAB-Pub-90/224. 1990. P. 2-3.
- [9] *Majewski S., Zorn K.* Fast scintillators for high radiation levels. part II // preprint CEBAF PR 92-003. 1992. P. 20-28.