

Научная статья
УДК 541.64:547.458.8

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЛИЗА АЦЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

**В. Г. Бурындин¹, А. Е. Шкуро², Р. А. Вазиров³, Н. С. Штабнов⁴,
М. Е. Котельников⁵**

^{1, 2, 4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

^{3, 5} Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Штабнов Никита Семенович,
lol_hukutos@mail.ru

Аннотация. Методом ИК-спектроскопии изучен радиолиз ацетатцеллюлозных пленок быстрыми электронами (0–90 кГр). Обнаружена конкуренция процессов деацетилирования (рост пика ОН при 3488 см⁻¹) и окисления (относительная стабильность пика С=О). Установлено, что процесс радиолиза интенсивно протекает при дозах свыше 50 кГр.

Ключевые слова: ацетат целлюлозы, радиолиз, быстрые электроны, ИК-спектроскопия, деацетилирование, радиационное окисление

Для цитирования: Исследование радиолиза ацетилцеллюлозных пленок методом ИК-спектроскопии / В. Г. Бурындин, А. Е. Шкуро, Р. А. Вазиров [и др.] // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 435–440.

Original article

RESEARCH OF RADIOLYSIS OF ACETYL CELLULOSE FILMS BY IR SPECTROSCOPY

**V. G. Buryndin¹, A. E. Shkuro², R. A. Vazirov³,
N. S. Shtabnov⁴, M. E. Kotelnikov⁵**

^{1, 2, 4} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

^{3, 5} Ural Federal University named after the first President of Russia
B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

© Бурындин В. Г., Шкуро А. Е., Вазиров Р. А., Штабнов Н. С.,
Котельников М. Е., 2026

¹ buryndinvg@m.usfeu.ru

² shkuroae@m.usfeu.ru

³ vazirov23@gmail.com

⁴ lol_hukutos@mail.ru

⁵ kotielnikov02@mail.ru

Corresponding author: Nikita Semenovich Shtabnov, lol_hukutos@mail.ru

Abstract. Radiolysis of acetyl cellulose films by high-energy electrons (0–90 kGy) was researched using IR spectroscopy. Competition between deacetylation (an increase OH peak at 3488 cm^{-1}) and oxidation (relative stability of the C=O peak) processes was detected. It has been established that the radiolysis process proceeds intensively at doses above 50 kGy.

Keywords: acetyl cellulose, radiolysis, high-energy electrons, IR spectroscopy, deacetylation, radiation oxidation

For citation: Issledovaniye radioliza atsetat tsellyuloznykh plenok metodom IK-spektroskopii [Research of radiolysis of acetyl cellulose films by IR spectroscopy] (2026) V. G. Buryndin, A. E. Shkuro, R. A. Vazirov [et al.]. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : materials of the XVII International Scientific and Technical Conference]. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 435–440. (In Russ).

Возрастающее внимание к устойчивому развитию усиливает интерес возобновляемым полимерам, в том числе в радиационной дозиметрии. Перспективными считаются эфиры целлюлозы – производные самого распространенного природного полимера, сочетающие разнообразие структур и свойств с экологичностью, биосовместимостью и биоразлагаемостью. Они характеризуются высокой чувствительностью к ионизирующему излучению, возможностью регулирования отклика через модификацию структуры, хорошей пленкообразующей способностью и совместимостью с добавками. Доступность и низкая стоимость делают их привлекательной альтернативой синтетическим материалам, особенно для массовых дозиметрических приложений [1, 2].

Отдельный интерес представляет использование ИК-спектроскопии как быстрой и дешевой альтернативы ЭПР-дозиметрии. Для ее развития необходимо понимание процессов, протекающих в ацетилцеллюлозе при облучении, а также оценка их интенсивности и вклада в формирование радиационного отклика.

Цель настоящей работы – исследование структурных изменений в пленках ацетата целлюлозы при облучении быстрыми электронами методом ИК-спектроскопии,

Для получения пленок ацетат целлюлозы, ТУ 6-05-943-75) растворяли в грамме ацетона с последующим введением этилацетата. Смесь выдерживали (24 ч), перемешивали, затем отстаивали (12 ч). Концентрация раствора составляла 5,5–7,0 %. После фильтрации и вакуумирования раствор разливали в чашки Петри; формирование пленок происходило 24 ч при комнатной температуре.

Облучение проводили на ускорителе УЭЛР-10-10С2 (10 МэВ, УрФУ). Дозу контролировали детекторами СО ПД(Ф)Р-5/50, оптическую плотность измеряли на спектрофотометре ПЭ-5400УФ. Доза облучения варьировалась в пределах 10–90 кГр.

Изменения химического состава пленок ацетата целлюлозы при радиолитическом исследовании с использованием ИК-Фурье-спектрометра ФСМ-2203. Полученные в результате ИК-спектры приведены на рис. 1.

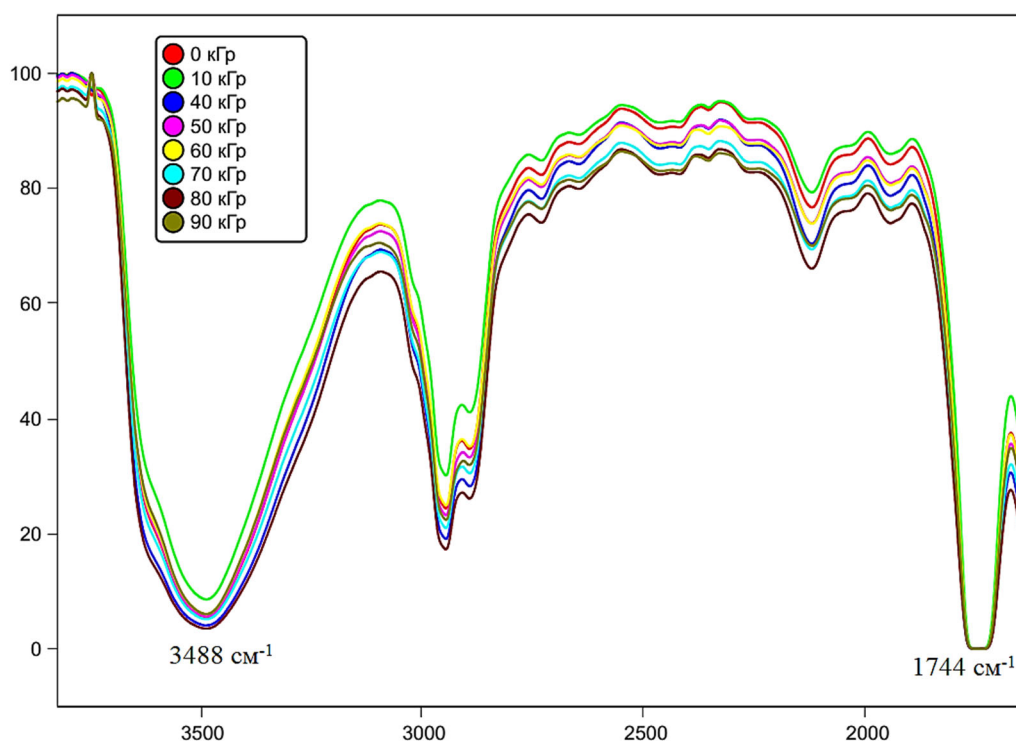


Рис. 1. ИК-спектры пленок из ацетата целлюлозы, облученных быстрыми электронами

При радиолитическом исследовании ацетата целлюлозы наиболее информативными представляются пики 3488 см^{-1} (O–H) и 1744 см^{-1} (C=O), изменения которых отражают деструкцию гидроксильных и сложноэфирных связей. На рис. 2 и 3 представлены изменения относительной площади этих пиков (как правило пропорциональные содержанию характеризующих их функциональных групп) в зависимости от величины поглощенной дозы ионизирующего излучения.

На основании данных ИК-спектроскопии пленок ацетата целлюлозы, облученных быстрыми электронами, можно сделать следующие выводы о происходящих структурных изменениях. Наблюдается четкий тренд к увеличению площади пика в области 3488 см^{-1} , соответствующего валентным колебаниям O–H связей, с ростом поглощенной дозы, особенно выраженный при увлечении дозы выше 50 кГр. Это увеличение однозначно свидетельствует о процессе радиолитического деацетилирования, при котором под действием излучения происходит отщепление ацетатных групп от основной цепи целлюлозы, что приводит к образованию новых гидроксильных групп.

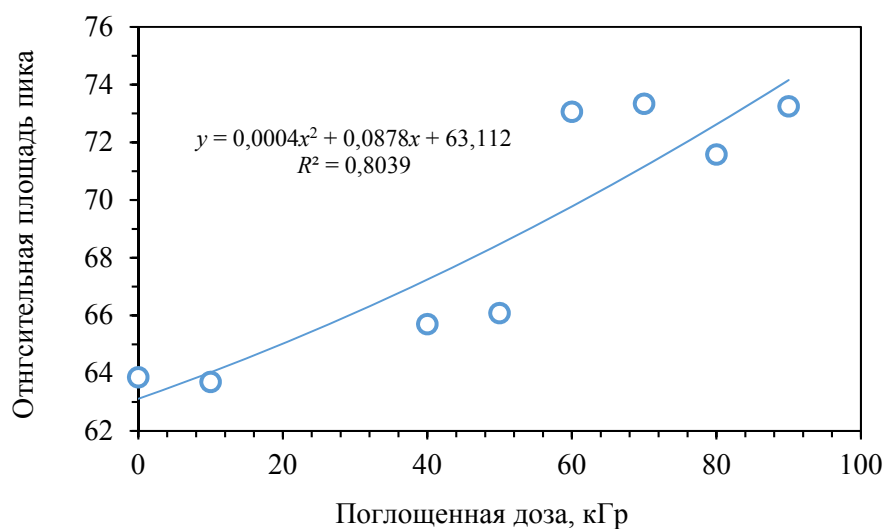


Рис. 2. Изменение относительной площади пика при 3488 см^{-1} в процессе радиолита пленок из ацетата целлюлозы

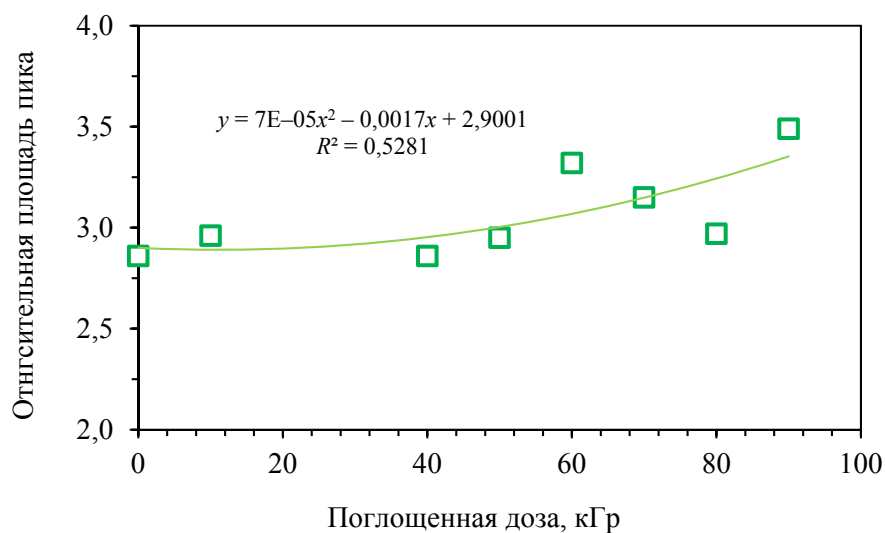


Рис. 3. Изменение относительной площади пика при 1744 см^{-1} в процессе радиолита пленок из ацетата целлюлозы

В то же время площадь пика карбонильной группы при 1736 см^{-1} , характерного для сложноэфирных связей ацетатных заместителей, не демонстрирует систематического снижения, ожидаемого при деацетилировании, а колеблется в пределах погрешности измерения. Отсутствие снижения данного пика на фоне роста концентрации ОН-групп объясняется конкуренцией двух параллельных радиационных процессов. Первый процесс – это непосредственное деацетилирование, ведущее к уменьшению количества карбонильных групп. Второй процесс – радиационно-индуцированное окисление, в ходе которого образующиеся свободные радикалы взаимодействуют с кислородом воздуха, что приводит к образованию новых карбонильных групп в составе альдегидных, кетонных или карбоксильных производных. Незначительный рост площади пика $\text{C}=\text{O}$ при высоких дозах облучения (90 кГр) указывает на интенсификацию окислительных процессов. В целом, стабильность пика 1736 см^{-1} является результатом баланса между потерей ацетатных групп и образованием карбонильных групп в результате окисления.

Таким образом, облучение электронным пучком вызывает глубокие превращения в материале, основным из которых является деацетилирование, сопровождаемое значительным окислением полимерной матрицы. Резкое ускорение роста количества ОН-групп в интервале доз от 50 до 60 кГр может указывать на наличие пороговой дозы, после которой процесс деструкции ацетатных заместителей значительно интенсифицируется. Перспективность применения ацетилцеллюлозных пленок в ИК-дозиметрах обусловлена выраженной зависимостью интенсивности пиков 3488 и 1744 см^{-1} от дозы облучения. Линейный характер изменений в диапазоне 50–90 кГр и неразрушающий метод контроля делают систему перспективной для практического использования.

Список источников

1. McLaughlin W., Ba W.-Z. Cellulose diacetate film dosimeters // Radiat Phys Chem. 1998. Vol. 31. No. 4–6. P. 481–490.
2. Algethami M. Effect of gamma radiation on the optical and color properties of cellulose triacetate for the application in radiation dosimetry // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2025. Vol. 18. P. 101507. DOI: 10.1016/j.jrras.2025.101507.

References

1. McLaughlin W., Ba W.-Z. Cellulose diacetate film dosimeters // Radiat Phys Chem. 1998. Vol. 31. No. 4–6. P. 481–490.

2. Algethami M. Effect of gamma radiation on the optical and color properties of cellulose triacetate for the application in radiation dosimetry // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2025. Vol. 18. P. 101507. DOI: 10.1016/j.jrras.2025.101507.

Сведения об авторах

Виктор Гаврилович Буриндин – доктор технических наук, профессор, buryndinvg@m.usfeu.ru;

Алексей Евгеньевич Шкуро – доктор технических наук, профессор, shkuroae@m.usfeu.ru;

Руслан Альбертович Вазиров – кандидат биологических наук, доцент, vazirov23@gmail.com;

Никита Семенович Штабнов – аспирант, lol_Hukutos@mail.ru;

Максим Евгеньевич Котельников – кандидат технических наук, доцент, kotelnikov02@mail.ru.

Information about the authors

Viktor G. Buryndin – doctor of Technical Sciences, Professor, buryndinvg@m.usfeu.ru.

Aleksey E. Shkuro – doctor of Technical Sciences, Professor, shkuroae@m.usfeu.ru;

Ruslan A. Vazirov – candidate of Biological Sciences, Associate Professor, vazirov23@gmail.com;

Nikita S. Shtabnov – graduate Student, marazaratamara@gmail.com;

Maxim E. Kotelnikov – candidate of Technical Sciences, Associate Professor, kotelnikov02@mail.ru.