

# ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ

Том (A) XI

## СОЕДИНЕНИЯ

1969

№ 5

УДК 678.01:(53+54):678.746

### ДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИ-3-ВИНИЛ-9-АЛКИЛКАРБАЗОЛОВ

*Е. С. Будникова, Е. Е. Сироткина, В. П. Лопатинский,  
Р. М. Кессених*

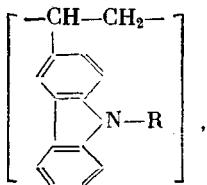
Объектом настоящего исследования являлись новые полимеры на основе карбазола — поли-3-винил-9-алкилкарбазолы, полученные в проблемной лаборатории Томского политехнического института [1]. Предварительные измерения показали [2], что эти полимеры обладают хорошими диэлектрическими свойствами, поэтому представлялось интересным подробнее изучить их электрические характеристики как в обычных условиях эксплуатации, так и после воздействия на них ионизирующего излучения, учитывая, что ранее известные полимеры на основе карбазола, например, поли-9-винил-карбазол, обладают высокой устойчивостью к действию излучения [3, 4].

В основу изучения была положена диэлектрическая релаксация, позволяющая сравнительно простыми методами обнаруживать ряд изменений, происходящих в объеме изучаемых объектов.

#### Образцы и методика измерения

Блочные полимеры 3-винил-9-алкилкарбазолов были получены термической полимеризацией 3-винил-9-алкилкарбазолов в отсутствие инициаторов в запаянных ампулах. Исходные мономеры получали из карбазола Харьковского коксохимического завода через 9-алкил-3-ацетил-9-алкилкарбазолы [1]. Для удаления низкомолекулярных продуктов полимеры подвергали нагреву до определенной температуры (табл. 1) в вакуумном шкафу в течение трех часов. В результате вакуумирования вес полимера уменьшался на 3%, цвет не изменялся. Образцы для исследования изготавливали прессованием. Электроды из алюминиевой фольги припрессовывали к образцам во время их изготовления. Толщина исследуемых образцов полимеров была в пределах 0,40—0,45 мм, диаметр измерительного электрода равнялся 30 мм.

Строение мономерного звена молекул исследуемых полимеров имеет вид



где R для каждого полимера указан в табл. 1.

Как видно, все исследованные полимеры имеют одинаковое строение полимерной цепи, отличаясь лишь величиной радикала R в положении 9. Поэтому в этом гомологическом ряду полимеров ожидалось проследить закономерное изменение свойств при воздействии на них радиоактивного излучения. Снятие ИК-спектров показало, что полимеры после вакуумирования не содержат мономеров и строение их соответствует приведенной формуле.

Средневязкостный молекулярный вес полимеров, вычисленный из уравнения  $[\eta] = KM\eta^a$  [5], лежит в пределах  $M_\eta = 9 \cdot 10^4 - 10^5$ . Измерение вязкости раствора полимера в бензole производили вискозиметром Убеллода при температуре 22,0°. При вычислении  $M_\eta$  использовали значения констант  $K$  и  $a$ , полученные для системы поли-3-винилкарбазол — бензол [6].

Измерение диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости полимеров производили методом дифференциального неуравновешенного моста [7, 8] в диапазоне частот  $20 - 10^5$  Гц при температурах от —150 до 250°.

Таблица 1

Некоторые характеристики исследуемых полимеров

Полимер	Сокращенное название полимера	R	$\mu_0, D$	Молекулярный вес мономерного звена	Температура вакуумирования, °C	Число электронов в 1 г вещества · $10^{-23}$
Поли-3-винил-9-метилкарбазол	ПЗВ9МК	—CH <sub>3</sub>	2,145	207,278	230	3,170
Поли-3-винил-9-этилкарбазол	ПЗВ9ЭК	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	2,149	221,304	270	3,195
Поли-3-винил-9-пропилкарбазол	ПЗВ9ПК	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>	2,171	235,328	240	3,210
Поли-3-винил-9-изопропилкарбазол	ПЗВ9ИПК	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ -\text{CH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	2,152	235,328	270	3,210
Поли-3-винил-9-изоамилкарбазол	ПЗВ9ИАК	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ -\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	2,207	263,335	180	3,230

Источником  $\gamma$ -излучения служил Co<sup>60</sup> активностью 50 г-экв. Ra, мощность дозы облучения равнялась  $(6 - 10) \cdot 10^4$  рад/час, энергия  $\gamma$ -квантов 1,25 Мэв. Облучение электронами проводили на бетатроне с выведенным пучком электронов, при этом энергия электронов равнялась 4 Мэв, мощность дозы облучения составляла  $5 \cdot 10^5$  рад/час. Поглощенную дозу измеряли ферросульфатным дозиметром [9].

Результаты эксперимента и их обсуждение

Дипольно-сегментальные потери. При нагреве поли-3-винил-9-алкилкарбазолов выше температуры стеклования в них наблюдается релаксация дипольно-сегментального типа — в температурном ходе  $\tg \delta$  полимера имеется максимум, который с повышением частоты сдвигается в сторону более высоких температур, при этом абсолютное значение максимума  $\tg \delta$  в полимере увеличивается. Увеличение  $\varepsilon$  с температурой происходит в том температурном интервале, в котором на соответствующей частоте наблюдается максимум  $\tg \delta$ . Следовательно, чем выше частота приложенного поля, тем больше интервал температур, в котором  $\varepsilon$  остается практически неизменной.

Такое поведение  $\varepsilon$  и  $\tg \delta$  в зависимости от температуры и частоты характерно для всех полимеров этого ряда. На рис. 1 приведены температурные зависимости  $\varepsilon$  и  $\tg \delta$  всех исследованных полимеров на одной частоте, из которых видно, что с увеличением длины радикала R в полимерах наблюдается смещение максимума  $\tg \delta$  в сторону более низких температур.

Интересно поведение  $\varepsilon$  в этом гомологическом ряду. Хотя дипольный момент мономерного звена  $\mu_0$  (табл. 1) увеличивается от метила к изоамилу ( $\mu_0$  измерен по методу разбавленных растворов Дебая),  $\varepsilon$  в этом ряду полимеров уменьшается, т. е. превалирующим оказывается не вели-

чина дипольного момента отдельного звена, а количество полярных звеньев в единице объема. Чем больше молекулярный вес, тем обычно больше и объем молекулы и тем меньше число молекул в единице объема. Молекулярный вес мономерного звена молекулы в этом ряду увеличивается (табл. 1). Исключением является только большое значение  $\varepsilon$  у ПЗВ9ИПК, по-видимому, вследствие того, что этот полимер обладает более компактной упаковкой.

Для проверки устойчивости диэлектрических свойств поли-3-винил-9-алкилкарбазолов к действию излучения, полимеры были облучены дозами  $10^7$  и  $10^8$  рад  $\gamma$ -лучами  $\text{Co}^{60}$ .

После облучения полимеров снимали температурные зависимости  $\varepsilon$  и  $\tan \delta$  в диапазоне частот от 20 до  $10^5$  Гц. На рис. 2 для каждого полимера

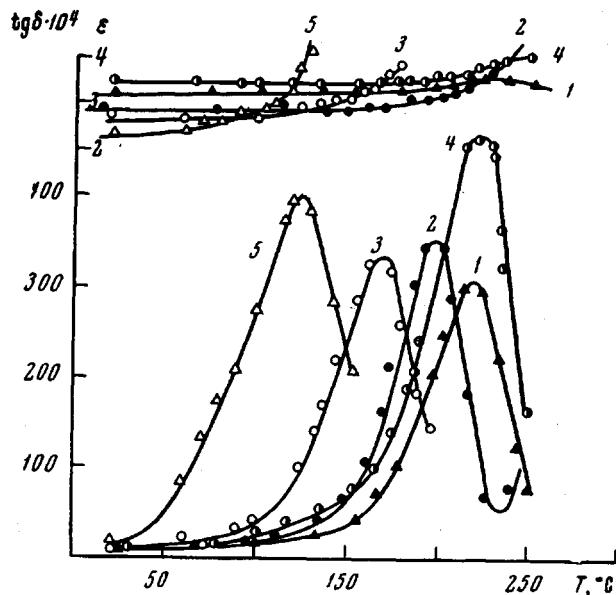


Рис. 1. Температурная зависимость  $\tan \delta$  и  $\varepsilon$  на частоте  $10^5$  Гц:

1 — ПЗВ9МК, 2 — ПЗВ9ЭК, 3 — ПЗВ9ПК, 4 — ПЗВ9ИПК,  
5 — ПЗВ9ИАК

приведены для сравнения температурные зависимости  $\varepsilon$  и  $\tan \delta$  необлученных образцов и облученных дозой  $10^7$  рад ( $\gamma$ ) на двух частотах. Из рис. 2 видно, что облучение не привело к изменению значений угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости полимеров при температурах от 20 до 70°, т. е. в той области температур, в которой полимер находится в стеклообразном состоянии. Но в области высоких температур, при которых в полимере проявляется диэлектрическая релаксация сегментального типа, в облученном полимере произошло уменьшение максимумов угла диэлектрических потерь по сравнению с необлученным полимером и сдвиг их в сторону более высоких температур. В облученных полимерах на соответствующих частотах рост диэлектрической проницаемости сдвинут также в сторону более высоких температур по сравнению с необлученным полимером.

Проявление указанной закономерности в изменении диэлектрических свойств полимеров усиливается с ростом дозы облучения. Так, на рис. 3 приводятся для сравнения на одной частоте зависимость от температуры угла диэлектрических потерь необлученного полимера, облученного дозой  $10^7$  и  $10^8$  рад ( $\gamma$ ), из которого хорошо видно уменьшение  $\tan \delta$  полимера в максимуме и смещение этого максимума в сторону высоких температур с ростом дозы облучения.

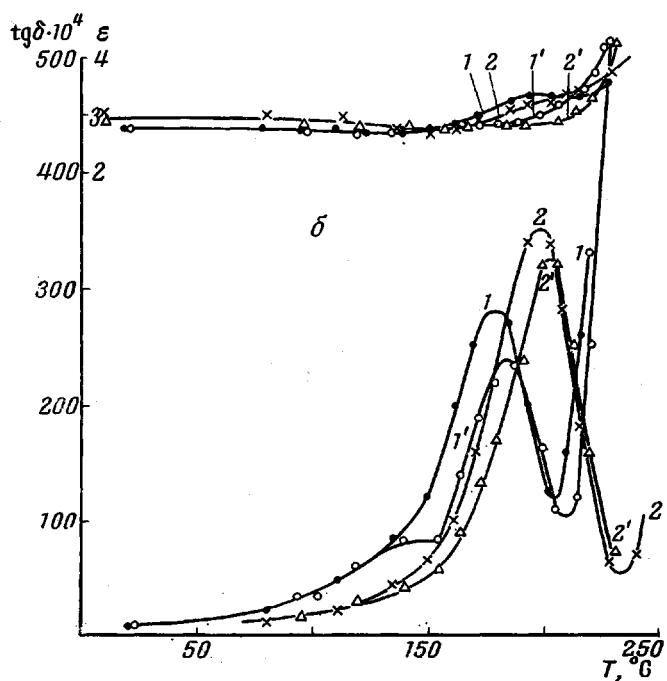
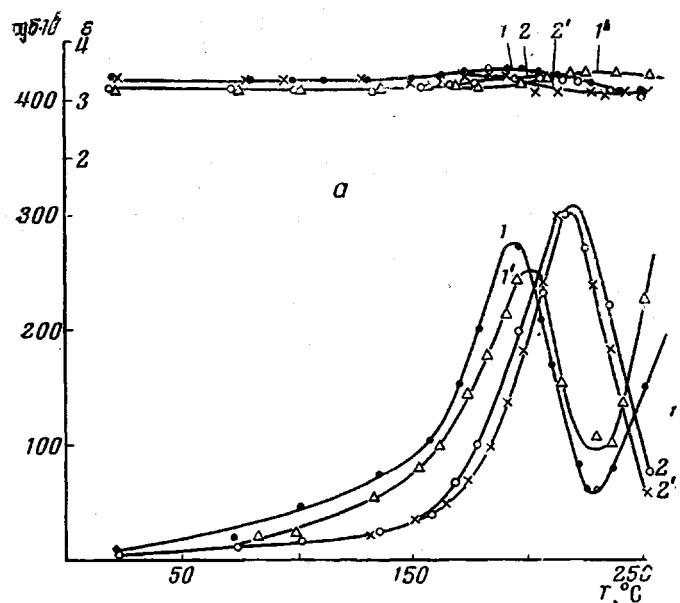
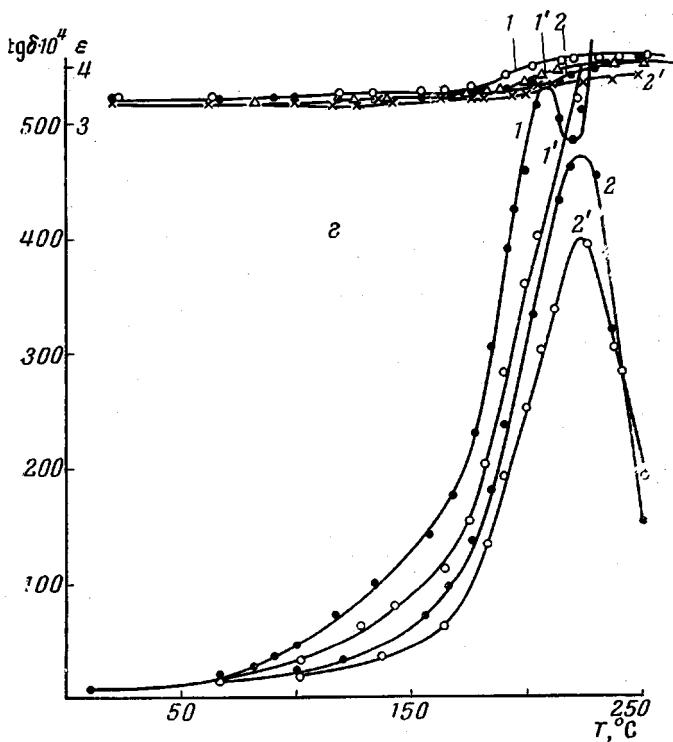
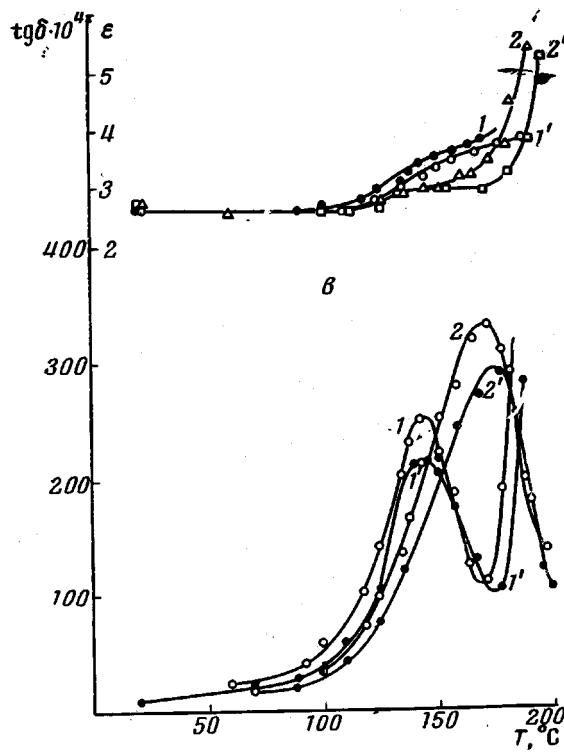


Рис. 2. Зависимость  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg} \delta$  поли-3-винил-9-алкилкарбазолов от температуры на частотах 20 (1, 1') и  $10^3$  гц (2, 2').

Для выяснения процессов, происходящих в полимере в результате его облучения, было проверено влияние на образцы полимера: 1) только дополнительной тепловой обработки и 2) дополнительной тепловой обработки одновременно с облучением полимера.

В первом случае образцы после их изготовления подвергали нагреву при  $100^\circ$  в течение 120 час.; во втором — образец в течение 120 час. находился при температуре  $100^\circ$  и  $\gamma$ -облучении с мощностью дозы  $8 \cdot 10^4$  рад/час. Таким образом, за это время образцы получили дозу  $10^7$  рад ( $\gamma$ ). Температуру прогрева образцов выбирали из того расчета, что при этой



а — ПЗВ9МК, б — ПЗВ9ЭК, в — ПЗВ9ПК, г — ПЗВ9ИПК; 1, 2 — необлученный полимер; 1', 2' — полимер облучен дозой  $10^7$  рад ( $\gamma$ )

температурае полимер находится в стеклообразном состоянии, полностью сохраняя свои рабочие свойства. На рис. 3 для ПЗВ9ИПК даны результаты измерения  $\operatorname{tg} \delta$  на одной частоте только прогретого полимера и полимера, прогретого под облучением. Из рисунка видно, что тепловая обработка образцов изменяет их диэлектрические свойства в ту же сторону, что и облучение. Так, действие тепла при  $100^\circ$  в течение 120 час. привело к тому же сдвигу максимума  $\operatorname{tg} \delta$  полимера в сторону высоких температур, как и 120-часовое  $\gamma$ -облучение с  $M = 8 \cdot 10^4$  рад/час при комнатной температуре. Одновременное воздействие на полимер излучения и тепла

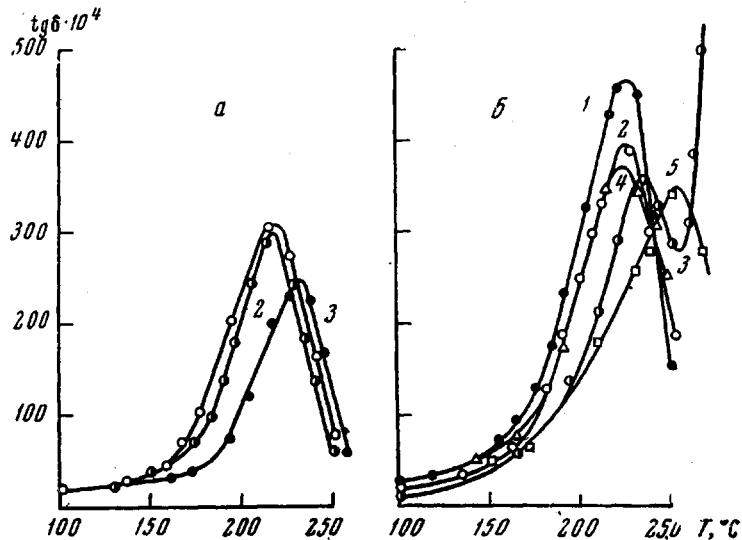


Рис. 3. Изменение  $\operatorname{tg} \delta$  полимера в зависимости от дозы облучения ( $f = 10^3$  эу):

а — ПЗВ9МК, б — ПЗВ9ИПК; 1 — не облучен, 2 — облучен  $10^7$  рад, 3 — облучен  $10^8$  рад, 4 — прогрет 120 час. при  $100^\circ$ , 5 — то же при облучении с  $M = 8 \cdot 10^4$  рад/час

приводит к сильному изменению его диэлектрических свойств гораздо большему, чем суммарный эффект одного облучения образцов или одного нагрева. В образцах, получивших дозу  $10^7$  рад ( $\gamma$ ), при нагреве при  $100^\circ$  максимум  $\operatorname{tg} \delta$  в сторону высоких температур сдвинулся больше, чем в образцах, получивших дозу  $10^8$  рад ( $\gamma$ ) без нагрева (при  $20^\circ$ ).

Кроме изучения воздействия на полимеры  $\gamma$ -излучения  $\text{Co}^{60}$  проводилось облучение их на бетатроне пучком выведенных электронов с энергией 4 Мэв. Сравнение температурных зависимостей  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg} \delta$  необлученного полимера, облученного  $\gamma$ -лучами и электронами, показало, что воздействие электронов на полимер качественно совпадает с действием  $\gamma$ -излучения.

В табл. 2 приведены значения эффективной энергии активации дипольно-сегментального процесса для узкого температурного интервала  $T_c$   $50^\circ$ , в котором  $\lg f_{\max}$  практически сохраняет линейную зависимость от обратной температуры (рис. 4) и температуры стеклования, определенные диэлектрическим методом [10, 11]. Значения  $\lg f_{\max}$  и  $T_c$  получены из частотных зависимостей  $\operatorname{tg} \delta$ , измеренных при различных температурах. Из табл. 2 видно, что  $U_{\text{эфф}}$  и температура стеклования в этом ряду полимеров уменьшаются с увеличением длины линейного радикала  $R$ . Это значит, что с увеличением радикала уменьшается межмолекулярное взаимодействие в полимерах этого ряда. ПЗВ9ИПК, обладающий коротким, но разветвленным радикалом у азота, имеет наибольшую  $U_{\text{эфф}}$  и температуру стеклования, что свидетельствует о том, что из изученных

полимеров у него наибольшее межмолекулярное взаимодействие. Облучение вызывает увеличение  $U_{\text{эфф}}$  и температуры стеклования в полимерах. Это увеличение  $U_{\text{эфф}}$  и  $T_c$  тем больше, чем больше доза облучения.

Как известно [12, 13],  $U_{\text{эфф}}$  связана с величиной истинной энергии активации  $U$  соотношением  $U_{\text{эфф}} = U - T \frac{\partial U}{\partial T}$ . Величина  $U$  для изучаемого гомологического ряда лежит в пределах  $20 \pm 5 \text{ ккал/моль}$  и изменяется в результате воздействия на полимеры излучения аналогично  $U_{\text{эфф}}$ .

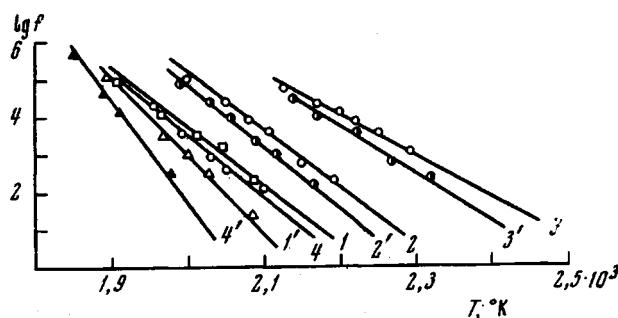


Рис. 4. Зависимость  $\lg f_{\text{макс}}$  от обратной температуры для поли-3-винил-9-алкилкарбазолов:

1, 1' — ПЗВ9МК, 2, 2' — ПЗВ9ЭК, 3, 3' — ПЗВ9ПК. 4, 4' — ПЗВ9ИПК необлученные (1—4) и облученные дозой  $10^3$  (1', 4'),  $10^7$  (2') и  $5 \cdot 10^7$  (3') рад ( $\gamma$ )

Все результаты измерения  $\varepsilon$  и  $\tan \delta$  поли-3-винил-9-алкилкарбазолов представлены в виде круговых диаграмм в комплексной плоскости обобщенной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon'' = j(\varepsilon')$  [14], из которых определены  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_\infty$  и параметр распределения времени релаксации  $\beta$  (в случае  $\beta = 0$  в полимере существует одно время релаксации). Облучение полимеров приводит к уменьшению разности  $\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty$  в них.

Параметр распределения времени релаксации  $\beta$  ведет себя следующим образом: в необлученном полимере  $\beta$  до некоторой температуры сохраняет одно и то же значение, а затем начинается постепенное уменьшение  $\beta$  с ростом температуры, т. е. постепенное сужение набора времен релаксаций. У облученного полимера это начало уменьшения  $\beta$  сдвинуто в сторону более высоких температур тем больше, чем больше доза облучения. Это понятно, поскольку облучение повышает  $T_c$  полимера и поэтому увеличивается температурный интервал, в котором  $\beta$  не зависит от температуры. Если же значение  $\beta$  изобразить в координатах  $T - T_c$ , то для

Таблица 2

Эффективная энергия активации дипольно-сегментального процесса и температура стеклования поли-3-винил-9-алкилкарбазолов

Полимер	$U_{\text{эфф}}$ , ккал/моль				$T_c$ , °C			
	не облучен	облучен			не облучен	облучен		
		$D = 10^3$ , рад ( $\gamma$ )	$D = 10^7$ , рад ( $\gamma$ )	$D = 3 \cdot 10^7$ , рад ( $e$ )		$D = 10^3$ , рад ( $\gamma$ )	$D = 10^7$ , рад ( $\gamma$ )	$D = 3 \cdot 10^7$ , рад ( $e$ )
ПЗВ9МК	68	77	106		171	176	194	
ПЗВ9ЭК	66	76	90	102	153	162	170	192
ПЗВ9ПК	50	57			117	127		
	$D = 5 \cdot 10^7$ рад ( $\gamma$ )				$D = 5 \cdot 10^7$ рад ( $\gamma$ )			
ПЗВ9ИПК	76	82	119	92	176	187	211	190

каждого полимера точки зависимости  $\beta$  от температуры и для необлученного, и для облученного различными дозами ложатся на одну кривую (рис. 5), причем для всех полимеров уменьшение  $\beta$  с ростом температуры начинается при  $T_c = 40^\circ$ .

Сдвиг максимумов  $\text{tg } \delta$  дипольно-сегментальных потерь поли-3-винил-9-алкилкарбазолов в сторону повышенных температур и уменьшение абсолютного значения  $\text{tg } \delta$  в максимуме после облучения свидетельствует о наличии процесса спшивания в облученных полимерах. Из литературы [15]

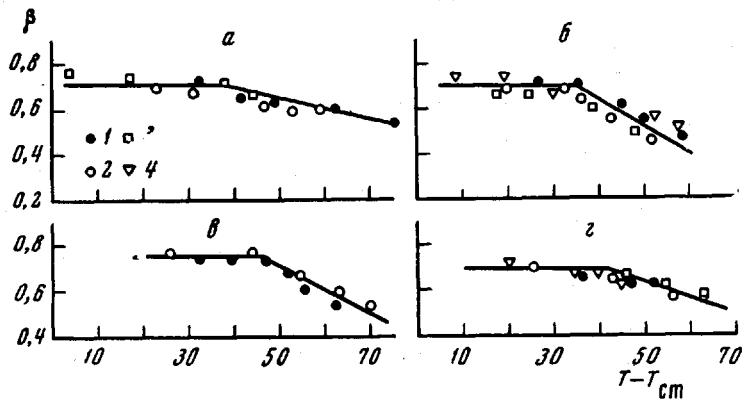


Рис. 5. Температурная зависимость параметра распределения времени релаксации  $\beta$ -поли-3-винил-9-алкилкарбазолов:

*a* — ПЗВ9МК, *б* — ПЗВ9ЭК, *в* — ПЗВ9ПК, *г* — ПЗВ9ИПК, необлученные (*1*) и облученные дозой  $10^7$  (*2*),  $10^8$  (*3*) ( $\gamma$ ) и  $3 \cdot 10^7$  (*4*) рад ( $\epsilon$ )

известно, что образование межмолекулярных пространственных связей в полимере вызывает уменьшение  $\text{tg } \delta$  в максимуме и сдвиг его в сторону высоких температур. О наличии же процесса спшивания в облученных полимерах говорит и прекращение растворимости облученных полимеров в

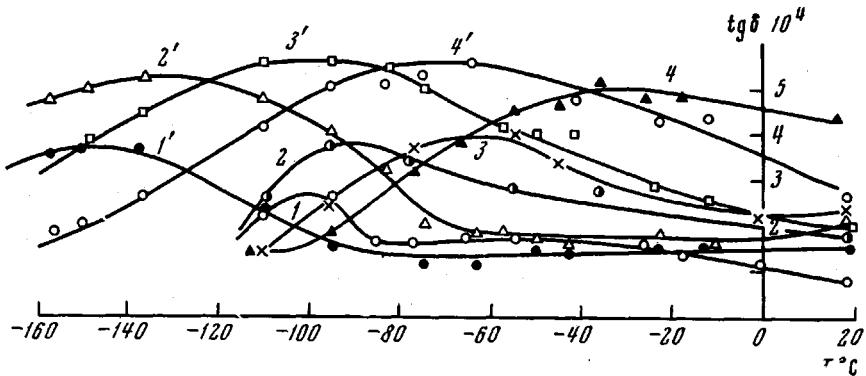


Рис. 6. Температурная зависимость дипольно-групповых потерь ПЗВ9МК на частотах  $20$  (*1*);  $10^2$  (*2*);  $10^3$  (*3*) и  $10^4$  (*4*) Гц. Цифры со штрихами относятся к ПЗВ9МК, облученному дозой  $1,8 \cdot 10^7$  рад (*5*)

бензole при комнатной температуре. Так, например, ПЗВ9ИПК необлученный растворяется в бензole в течение двух суток, а ПЗВ9ИПК, облученный дозой  $10^7$  рад ( $\gamma$ ), остается нерастворенным в тех же условиях в течение 14 суток и способен раствориться лишь при нагреве и интенсивном перемешивании раствора. Поэтому увеличение  $U_{\text{эфф}}$  и  $T_c$  в полимерах с ростом дозы облучения является результатом увеличения в них степени спшивания.

Радиационно-химический выход процесса спшивания в этих полимерах повышается при действии тепла. Аналогичный эффект установлен для полиэтилена и силиконовых жидкостей [16].

**Дипольно-групповая релаксация.** Дипольно-групповые потери в поли-3-винил-9-алкилкарбазолах проявляются на частотах 20— $10^5$  Гц в области температур —160—0°. На рис. 6 приведены результаты измерения дипольно-групповых потерь ПЗВ9МК. Для прочих полимеров этого ряда зависимости  $\text{tg } \delta$  дипольно-групповых потерь от температуры имеют аналогичный вид и мы их опускаем. Из рис. 6 видно, что с повышением частоты максимум  $\text{tg } \delta$  дипольно-групповых потерь сдвигается в сторону более высоких температур, увеличиваясь по абсолютному значению. У полимеров с неразветвленным радикалом R облучение приводит к сдвигу максимумов  $\text{tg } \delta$  дипольно-групповых потерь в сторону более низких температур, а у ПЗВ9ИПК — в сторону более высоких температур по сравнению с необлученным полимером.

Изучение дипольно-групповых потерь поли-3-винил-9-алкилкарбазолов показывает (табл. 3), что: 1) энергия активации их увеличивается с увеличением длины радикала в положении 9; 2) ПЗВ9ИПК, обладающий коротким, но разветвленным радикалом в положении 9, имеет наибольшую энергию активации дипольно-групповых потерь; 3) облучение вызывает уменьшение энергии активации дипольно-групповых потерь у полимеров с линейными радикалами; 4) облучение ПЗВ9ИПК, обладающего разветвленным радикалом, приводит к увеличению его энергии активации дипольно-групповых потерь.

Из поведения дипольно-групповых потерь напрашивается вывод, что радиационное сшивание полимеров приводит к изменению внутреннего объема мономерного звена полимера; усиление жесткости спицой цепи дает большую свободу движения линейного радикала по сравнению с неспицтым полимером.

На основании изучения дипольно-сегментальных и дипольно-групповых потерь изученных полимеров можно предложить следующий механизм сшивания в полимерах этого ряда.

Все поли-3-винил-9-алкилкарбазолы под действием облучения спиваются, причем сшивка молекулярных цепей в этих полимерах идет по карбазольным кольцам, а в ПЗВ9ИПК процесс сшивания, по-видимому, происходит еще и через радикал R.

### Выходы

1. Изученные полимеры на основе карбазола относятся к радиационно стойким. Облучение большими дозами (порядка  $10^8$  рад) не приводит к ухудшению их электрических свойств.

2. В области температур от 0 до 100—130°, когда полимер находится в стеклообразном состоянии и отсутствует релаксация, излучение не влияет практически на абсолютное значение  $\text{tg } \delta$  изученных полимеров.

3. В области температур, где в полимерах проявляется дипольно-сегментальная релаксация, в облученных полимерах наблюдается уменьшение абсолютного значения максимумов углов диэлектрических потерь и сдвиг их в сторону более высоких температур, увеличение энергии активации  $U_{\text{эфф}}$  и температуры стекловидного состояния, уменьшение растворимости, что свидетельствует о наличии в облученных полимерах процессов сшивания.

4. В области температур, где проявляется дипольно-групповая релаксация, в полимерах с неразветвленным радикалом R (метил, этил, *n*-пропил) облучение приводит к уменьшению энергии активации  $U_{\text{д. г.}}$ .

Таблица 3

Энергия активации дипольно-групповых потерь поли-3-винил-9-алкилкарбазолов

Полимер	$U$ , ккал/моль		Доза облучения · $10^7$ рад
	не облучен	облучен	
ПЗВ9МК	7,1	3,1	1,8 (e)
ПЗВ9ЭК	8,5	6,8	1,4 ( $\gamma$ )
ПЗВ9ПК	9,3	5,6	7,5 ( $\gamma$ )
ПЗВ9ИПК	12,5	13,5	1,0 ( $\gamma$ )

В ПЗВ9ИПК, имеющем короткий, но разветвленный радикал, происходит увеличение энергии активации  $U_{d,g}$  после облучения полимера, что свидетельствует о появлении затрудненности его движения.

5. Поведение  $U_{d,c}$ , потеря,  $T_c$  и  $U_{d,g}$  потеря позволяет высказать предположение о механизме действия излучения на поли-3-винил-9-алкилкарбазолы: облучение вызывает в них сшивание полимерных цепей по карбазольным кольцам. ПЗВ9ИПК же, кроме этого, сшивается еще и по радикалам R.

6. Длительное воздействие повышенной температуры оказывает на полимеры такое же влияние, как и облучение. Совместное воздействие температуры и облучения повышает радиационно-химический выход процесса сшивания в изучаемых полимерах.

7. Из изученных полимеров на основе карбазола лучшими электроизоляционными свойствами обладают полимеры с более коротким радикалом R (метил, этил, изопропил).

Сибирский физико-технический  
научно-исследовательский институт  
им. В. Д. Кузнецова

Поступила в редакцию  
24 V 1967

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Лопатинский, Е. Е. Сироткина, Авт. свид. СССР 158 883, 1963; Бюлл. изобретений, 1963, № 23.
2. Р. М. Кессених, А. В. Петров, В. А. Попов, В. П. Лопатинский, Е. Е. Сироткина, Высокомолек. соед., 7, 328, 1965.
3. F. Waddington, J. Oil and Colour Chemist's Assoc., 44, 179, 1961; Химия и технология полимеров, 1961, № 10, 138.
4. Р. Болт, Д. Керрол, Действие радиации на органические материалы, Атомиздат, 1965.
5. Цянь Жень-Юань, Определение молекулярных весов полимеров, Изд-во иностр. лит., 1962.
6. K. Uebergreiter, J. Springer, Z. phys. Chem., 36, 299, 1963.
7. Б. И. Ворожцов, Приборы и техника экспер., 1959, № 1, 112.
8. Е. С. Несмолова, Приборы и техника экспер., 1966, № 4, 125.
9. И. В. Верещинский, А. К. Пикаев, Введение в радиационную химию, Изд-во АН СССР, 1963, 343.
10. С. Н. Колесов, Высокомолек. соед., 8, 650, 1966.
11. Г. П. Михайлов, Т. И. Борисова, А. С. Нигманходжаев, Высокомолек. соед., 8, 969, 1966.
12. Я. С. Лебедев, Ю. Д. Цветков, В. В. Воеводский, Кинетика и катализ, 1, 496, 1960.
13. А. И. Михайлов, Я. С. Лебедев, Ж. физ. химии, 42, 1005, 1968.
14. K. S. Cole, R. H. Cole, J. Chem. Phys., 9, 341, 1941.
15. Г. П. Михайлов, Л. В. Краснер, Высокомолек. соед., A9, 213, 1967.
16. А. Чарльзби, Ядерные излучения и полимеры, Изд-во иностр. лит., 1962.

---

#### EFFECT OF RADIATION ON ELECTRICAL BEHAVIOR OF POLY-3-VINYL-9-ALKYLCARBAZOLES

*E. S. Budnikova, E. E. Strotkina, V. P. Lopatinskii,  
R. M. Kessenikh*

#### Summary

Electrical behavior of novel polymers based on carbazol has been studied before and after irradiation with  $\gamma$ -rays of  $\text{Co}^{60}$  and with electrons of energy 4 MEV. Angle of dielectric losses and dielectric permeance have been measured at temperatures — 150—250° C and at frequencies 20— $10^6$  C by means of differential nonbalanced bridge. Coming from variation of electrical behavior of irradiated polymers, inferences about crosslinking at irradiation and about its mechanism have been made.

---