

# Способы получения и изучение свойств полимерных пленок на основе гелей поливинилового спирта, преобразованных 1-(2-пиридиазо)-2-нафтолом

О. А. Фарус, к. х. н.<sup>1</sup>

УДК 543.421/.422

В работе приведены результаты исследований, посвященных вопросам получения полимерных пленок на основе гидрогелей поливинилового спирта, модифицированных 1-(2-пиридиазо)-2-нафтолом. Исследование направлено на поиск эффективного способа синтеза влагостойких полимерных пленок со стабильными оптическими свойствами. Оценены влагостойкость полученных материалов путем определения времени их деформации в водной среде, изучены спектры поглощения в диапазоне длин волн 190–800 нм. Установлено, что любой из выбранных способов синтеза приводит к увеличению влагостойкости пленок, но при этом может происходить существенное изменение их спектральных характеристик. Отмечена перспективность использования материалов, полученных воздействием высоких температур (100 °C) в течение 30 мин.

**Ключевые слова:** полимерные пленки, влагостойкость, спектр поглощения, синтез

## Введение

В последние годы ученые уделяют большое внимание полимерным гидрогелям, которые обладают уникальными свойствами. К ним относятся: эластичность, прозрачность, наличие адсорбционной способности. Такие свойства позволяют использовать их в различных областях, в том числе в качестве основы для введения лекарственных препаратов, как основное вещество имплантатов, пломбировочных материалов в различных областях хирургии и т. п. [1-3]. Одним из интересных направлений является применение их в качестве основы для разработки тест-системы на ионы металлов. В этом случае необходимо провести модификацию полученных материалов фотометрическим индикатором. В качестве фотометрического реагента в работе выбран 1-(2-пиридиазо)-2-нафтол (ПАН).

Выбор этого азокрасителя обусловлен его широким спектром применения в аналитической химии в качестве металлохромного индикатора. С помощью ПАН определяют ионы кобальта (II), алюминия (III), цинка (II), меди (II), кадмия (II), палладия (II), галлия (III), таллия (I), скандия (III), висмута (III) и т. д. [4, 5]. Для формирования гелей за основу часто берут поливиниловый спирт (ПВС). Поливиниловый спирт относится к пленкообразующим полимерам со слаборазветвленной структурой. Формирование пленок ПВС ведется на основе коллоидного раствора полимера с дальнейшим переводом его в гель и высушиванием (золь-гель-синтез). Полимерные пленки образуются за счет формирования поперечных химических связей между макромолекулами полимера [6-8]. При использовании гелей в качестве основы индикаторных тест-систем к ним предъявляется ряд специфических требований: высокая влагостойкость, постоянство оптических свойств (спектров поглощения) и высокая поглощающая способность [9].

<sup>1</sup> Оренбургский государственный педагогический университет, г. Оренбург, Россия. farusok@yandex.ru.

Цель настоящей работы – исследование возможности повышения влагостойкости полимерных пленок типа ПВС/ПАН при условии сохранения постоянства их оптических спектров поглощения.

Для достижения указанной цели решали следующие задачи:

- исследование зависимости времени деформации пленок ПВС/ПАН от условий получения образцов;
- изучение характера изменения оптических спектров модифицированных образцов пленок;
- выявление наиболее эффективного способа получения влагостойких образцов пленок со стабильными оптическими характеристиками.

## Результаты и их обсуждение

На первом этапе эксперимента были получены полимерные пленки типа ПАН/ПВС при комнатной температуре. Поливиниловый спирт относится к термопластичным линейным полимерам с небольшой степенью разветвленности, кристалличность которого достигает 45–70% [10]. Навеску ПВС после набухания в течение 8 ч растворяли в воде и получали 10% раствор, в который вводили, при постоянном перемешивании на магнитной мешалке, 1 мл на каждые 100 г раствора ПВС 1%-ного спиртового раствора 1-(2-пиридинилазо)-2-нафтола. Формировали пленочный материал путем полива полученного раствора на стеклянную чашку Петри. Сушили при комнатной температуре в течение 24 ч.

Для оценки стабильности оптических спектров поглощения модифицированных образцов сначала сняли спектр поглощения пленки ПАН/ПВС, высушенной при комнатной температуре.

Спектры поглощения снимали на цифровом УФ-ВИД-спектрофотометре PD-303UF в диапазоне длин волн от 190 до 800 нм относительно полимерной пленки, полученной на основе чистого ПВС без фотометрического реагента.

В спектре поглощения пленки типа ПВС/ПАН наблюдаются четыре максимума (рис. 1). В видимой области лежит один на длине волны 476 нм, эта полоса поглощения считается характеристической.

Спектр поглощения 1-(2-пиридинилазо)-2-нафтола зависит от формы нахождения в образце. В водно-органических средах ПАН может находиться в трех основных формах: протонированной ( $LH_2^+$  – желтая окраска), молекулярной ( $LH$  – желто-зеленая окраска) и ионной ( $L^-$  – сиреневая окраска) [11]. Наличие характеристической полосы в полученной пленке в области 476 нм подтверждает существование его

в молекулярной форме. Незначительный батохромный сдвиг полосы поглощения в исследуемом образце по сравнению со свободным реагентом, объясняется помещением молекул ПАН в матрицу полимера.

Для определения влагостойкости полученных материалов отбирали три образца пленочных материалов в форме квадрата 20×20 мм, которые помещали в химический стакан и заливали дистиллированной водой при температуре (20±1)°С и измеряли время полного растворения. За результат испытаний принимали среднее арифметическое значение трех измерений.

Установлено, что исходный образец пленки не влагостойкий, полностью растворяется за три минуты в воде и на первых секундах подвергается значительной деформации. Согласно литературным сведениям влагостойкость полимерных пленок можно повысить, используя криозаморозку, а также воздействуя высокими температурами или излучением.

## Способ криозаморозки

Процесс формирования криогелей на основе ПВС состоит из трех основных стадий: замораживание раствора полимера, выдерживание (инкубацию) замороженной системы при выбранной отрицательной температуре в течение определенного времени и оттаивание. Продолжительность выдерживания образцов в замороженном состоянии заметно способствует повышению жесткости получающихся криогелей. В работах [12, 13] описаны механизмы криоструктурирования растворов ПВС. Согласно проведенным исследованиям обязательным условием формирования криогелей является заморозка основной массы растворителя – воды. В оставшемся незамерзшем

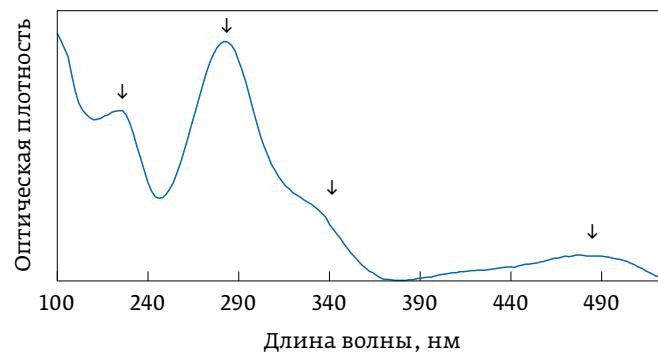


Рис. 1. Спектр поглощения пленки типа ПВС/ПАН, высушенной при комнатной температуре

растворителе концентрируются гелеобразующие компоненты. После оттаивания в пленке остаются полости, заполненные водой. Под действием динамических напряжений, возникающих при кристаллизации воды, в полимере идут процессы деструкции, приводящие к образованию макрорадикалов полимера. Наличие макрорадикалов способствует дополнительной сшивке молекул поливинилового спирта между собой, что повышает влагостойкость полимерных пленок.

В данном синтезе пленки выдерживали при температуре  $-12^{\circ}\text{C}$  (261 K) в течение 30 мин, а стадия оттаивания включала в себя три цикла и заняла 96 ч. Полученные методом криозаморозки образцы по внешнему виду не существенно отличаются от исходных пленок, но имеют чуть более насыщенную окраску.

Визуальная информация подтверждается результатами спектрофотометрического анализа (рис 2).

Заметного изменения положения максимумов в спектре поглощения образца, полученного при криозаморозке, по сравнению с исходной пленкой, не происходит, но при этом наблюдается повышение интенсивности сигнала. Стабильность положения максимумов в спектрах поглощения позволяет сделать вывод о неизменности формы фотометрического реагента. При этом рост интенсивности сигнала определяется увеличением концентрации ПАН в пленке за счет формирования в гидрогеле макропористой структуры в результате процессов криотропного гелеобразования.

При анализе установлено, что в результате криозаморозки пленка становится более влагопрочной, поскольку деформация начинается после 10 мин воздействия воды.

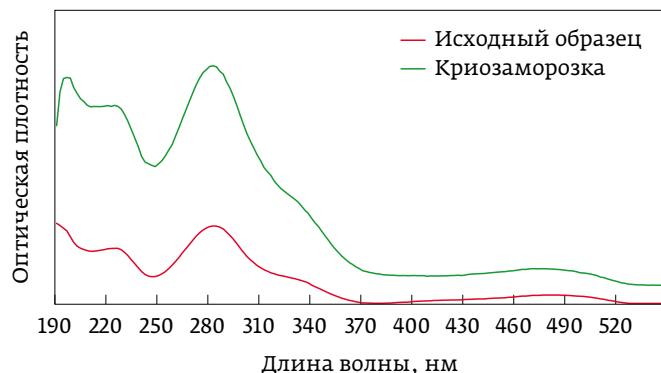


Рис. 2. Спектры поглощения пленок типа ПВС/ПАН, полученных при комнатной температуре и методом криозаморозки

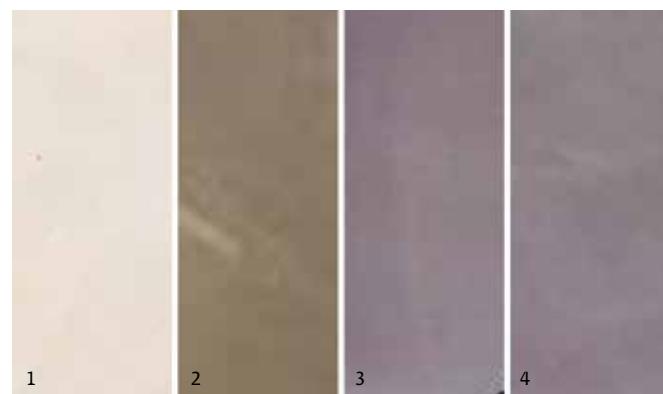


Рис. 3. Пленки после воздействия УФ-излучения: 1 – исходный образец (получен при комнатной температуре); далее пленки после экспозиции 10 мин (2), 30 мин (3), 120 мин (4)

Из проведенных экспериментов следует, что криозаморозка как способ получения ПВС/ПАН пленок имеет ряд плюсов и минусов. К плюсам можно отнести постоянство оптических свойств и существенное повышение влагостойкости образца. К минусам – достаточную длительность и трудоемкость способа. Исходя из этого, принято решение не использовать этот способ модификации в дальнейшем исследовании.

### Способ воздействия УФ-лучей

УФ-излучение занимает промежуточное положение между видимым и рентгеновским диапазонами спектра. Длины волн УФ-излучения лежат в интервале от 10 до 400 нм ( $7,5 \cdot 10^{14}$  –  $3 \cdot 10^{16}$  Гц).

В работе для облучения пленок использовали искусственный источник УФ-излучения – гибридную

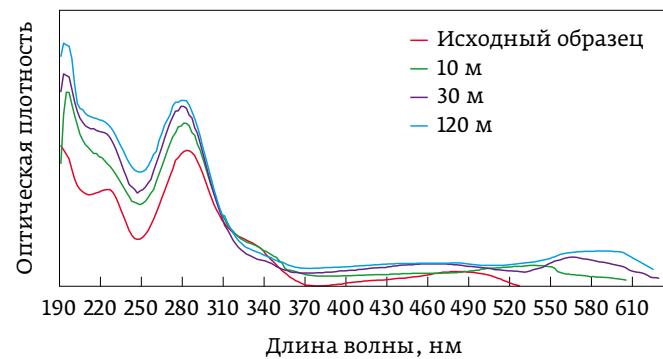


Рис. 4. Спектры поглощения пленок после воздействия УФ-излучения: исходный образец (получен при комнатной температуре); далее пленки после экспозиции 10 мин, 30 мин, 120 мин

**Таблица 1.** Положение максимумов поглощения пленок типа ПВС/ПАН после УФ-облучения

Номер максимума на спектре поглощения	Положение максимумов поглощения, нм			
	исходный образец	Номер образца (время воздействия УФ-излучения, мин)		
		2 (10)	3 (30)	4 (120)
1	224°	192°	192°	190°
2	282	280	279	278
3	340°	344°	344°	344°
4	476	534	564	584

\* Положение плеча на спектре поглощения.

ультрафиолетовую светодиодную (UF + LED) лампу.

Внешний вид пленок после облучения сильно отличается от исходного. Чем дольше воздействие УФ-лучей, тем ярче проявляется фиолетовая окраска пленок (рис. 3).

Потемнение окраски полученных образцов отразилось на спектрах поглощения (рис. 4).

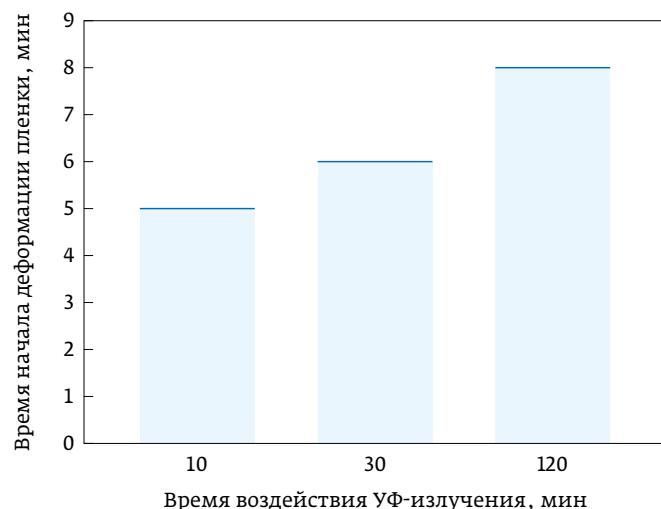
Для удобства сравнительного анализа экспериментальных результатов составлена таблица, в которой отражено положение максимумов поглощения на спектрах исходных и модифицированных УФ-излучением пленок (табл. 1).

Исследования показали, что увеличение времени воздействия УФ-излучения приводит к росту оптической плотности, а также к уширению пика в области ~500 нм и его существенному батохромному сдвигу.

Батохромный сдвиг максимума поглощения свидетельствует об изменении формы фотометрического индикатора. Появление в окраске пленок насыщенных сиреневых оттенков подтверждает переход 1-(2-пиридинилазо)-2-нафтола из молекулярной формы (LH) в ионную форму (L<sup>-</sup>), что согласуется с ионизирующей способностью УФ-излучения.

Анализ деформации полученных пленок показывает, что чем больше время воздействия УФ-излучения на образцы, тем выше водоустойчивость пленок (рис. 5).

Увеличение влагостойкости полученных образцов под действием УФ-излучения объясняется образованием дополнительных поперечных связей в результате рекомбинации свободных радикалов. Образование свободных радикалов происходит не только в результате гомолитического распада C-H-связей в полимере под воздействием УФ-излучения, но

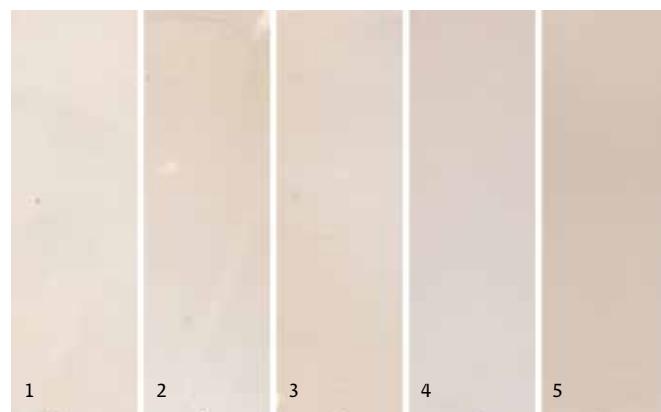


**Рис. 5.** Динамика изменения устойчивости полученных полимерных пленок, в зависимости от времени воздействия УФ-лучей

и в результате радиолиза молекул воды. Радиолиз воды приводит к образованию гидроксил-радикалов, которые атакуют полимерную цепь, способствуя дополнительному образованию макрорадикалов [14-16].

## Способ воздействия микроволнового излучения

В ходе исследования получено пять образцов (рис. 6), отличающихся временем воздействия на них микроволнового излучения.



**Рис. 6.** Пленки после воздействия микроволнового излучения. 1 – исходный образец (получен при комнатной температуре); далее пленки после обработки в течение 30 с (2), 60 с (3), 80 с (4), 100 с (5)

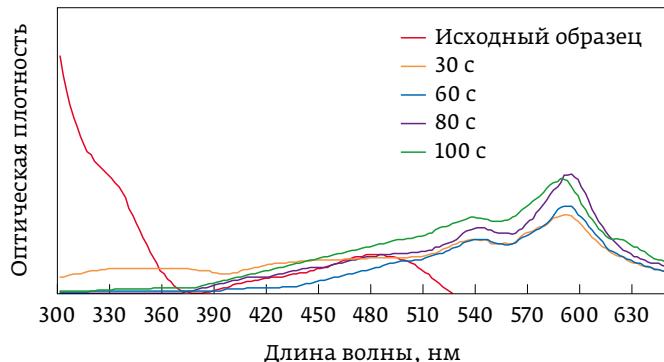


Рис. 7. Спектры поглощения пленок после воздействия микроволнового излучения. 1 – исходный образец (получен при комнатной температуре); далее пленки после обработки в течение 30 с (2), 60 с (3), 80 с (4), 100 с (5)

Пленки по внешним признакам несущественно отличаются от исходного образца, но при сравнительном анализе полученных спектров поглощения выявлено, что после микроволновой обработки исчезают максимумы поглощения в УФ-области, а в видимой части спектра происходит уширение характеристического максимума поглощения и его сдвиг в инфракрасную часть спектра (рис. 7, табл. 2).

Появление в окраске ПАН/ПВС-пленок сиреневых оттенков позволяет сделать вывод о переходе азокрасителя в ионную форму, аналогичные процессы наблюдаются и после УФ-облучения. Необходимо отметить, что интенсивность сиреневых оттенков в пленках, модифицированных микроволновым излучением, намного меньше, чем в образцах после УФ-облучения. Причина – в ионизации меньшего

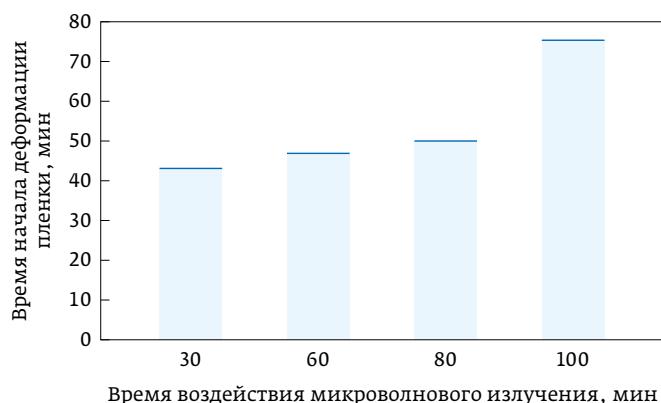


Рис. 8. Динамика изменения устойчивости полученных полимерных пленок в зависимости от воздействия микроволнового излучения

Таблица 2. Положение максимумов поглощения пленок типа ПВС/ПАН после микроволнового излучения

Номер максимума на спектре поглощения	Положение максимумов поглощения, нм				
	1 исходный образец	Номер образца (время воздействия микроволнового излучения, с)			
		2 (30)	3 (60)	4 (80)	5 (100)
1	224*	-	-	-	-
2	282	-	-	-	-
3	340°	540	540	538	536
4	476	592	594	598	596

\* Положение плача на спектре поглощения.

числа молекул 1-(2-пиридиазо)-2-нафтола более слабым микроволновым излучением.

Изучая динамику изменения устойчивости полученных полимерных пленок, установлено, что чем дольше действие микроволнового излучения, тем влагоустойчивее пленка (рис. 8).

Микроволновое излучение по механизму воздействия на полимеры очень близко к УФ-излучению. Повышению влагостойкости полученных полимеров способствует радиационная полимеризация молекул ПВС в обоих случаях [17, 18].

## Способ воздействия высоких температур

С повышением температуры происходит увеличение равновесной степени набухания [4]. Модификацию проводили в сушильном шкафу при температуре 100 °C (373 K). В ходе исследования получены три образца, которые отличались по времени выдерживания в сушильном шкафу.

Внешний вид пленок значительно отличается от исходного образца (рис. 9). Чем дольше пленка была выдержанна в сушильном шкафу, тем ярче окраска пленки.

Установлено, что чем дольше воздействие высоких температур, тем выше оптическая плотность (рис. 10).

Необходимо отметить заметное расширение пика поглощения в диапазоне длин волн 280–480 нм. Положение максимумов поглощения приведено в табл. 3.

Необходимо обратить внимание, что после длительного воздействия температур (60 мин и более) происходит гипсохромный сдвиг характеристического максимума поглощения: чем длительнее воздействие, тем сильнее сдвиг. Наличие сдвига



**Рис. 9.** Пленки после воздействия высоких температур. 1 – исходный образец (получен при комнатной температуре); далее пленки, выдержаные в сушильном шкафу в течение 30 мин (2), 60 мин (3), 120 мин (4)

в коротковолновую часть спектра позволяет объяснить существенное насыщение окраски исследуемых образцов красными оттенками. Такое изменение окраски связано с образованием в структуре пленок нерастворимых темноокрашенных полиэтинов. Полиэтины являются продуктами ненасыщенной сопряженности в цепи, сочетающейся с попечными связями [19].

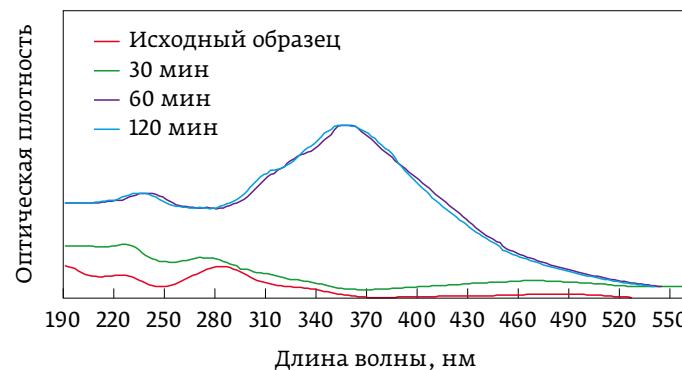
Динамика изменения устойчивости полимерных пленок зависит от времени выдержки: чем дольше пленки находились в сушильном шкафу, тем выше их влагостойкость (рис. 11).

Большинство исследователей отмечают, что воздействие высоких температур приводит к изменению макромолекул полимера [20–22]: происходит уменьшение числа межмолекулярных связей, но при этом увеличивается число внутримолекулярных

**Таблица 3.** Положение максимумов поглощения пленок типа ПВС/ПАН после действия высокой температуры

Номер максимума на спектре поглощения	Положение максимумов поглощения, нм			
	1 исходный образец	Номер образца (время воздействия высоких температур, мин)		
		2 (30)	3 (60)	4 (120)
1	224*	224	242	238
2	282	278		
3	340*	362	354	
4	476			

\* Положение плача на спектре поглощения.

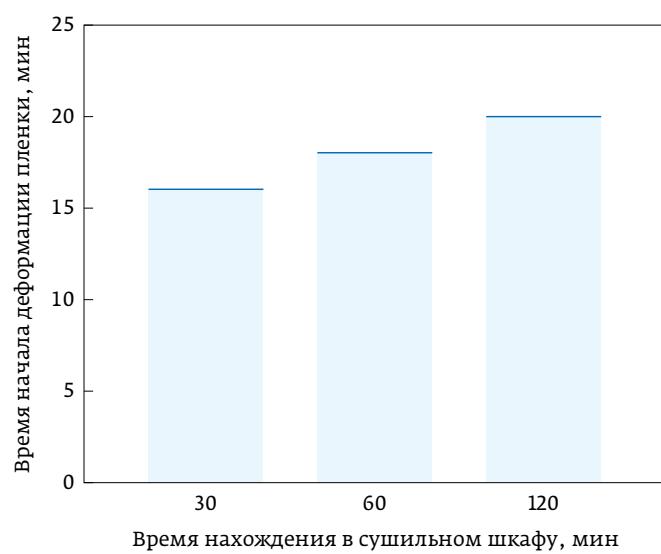


**Рис. 10.** Спектры поглощения пленок после воздействия высоких температур. 1 – исходный образец (получен при комнатной температуре); далее пленки, выдержаные в сушильном шкафу в течение 30 мин (2), 60 мин (3), 120 мин (4)

водородных связей. Данное перераспределение связей внутри молекул поливинилового спирта приводит к повышению его сорбционной способности, в том числе и по отношению к воде.

## Заключение

Полимерные гидрогели обладают рядом уникальных свойств, таких как эластичность, прозрачность и сорбционная способность, что позволяет использовать подобные системы в разработке аналитических тест-систем на большую группу ионов металлов.



**Рис. 11.** Динамика изменения устойчивости полимерных пленок в зависимости от времени нахождения в сушильном шкафу

Процесс синтеза основан на золь-гель-технологии, связанной с переходом образовавшегося золя в гель. Переход происходит за счет контактов между частицами и образования монолитного геля, в котором молекулы растворителя заключены в гибкую, но достаточно устойчивую трехмерную сетку. Влагостойкость и прочность полимерных пленок можно повысить путем изменения температурного режима при их формировании или воздействия различными видами излучения, например УФ- или микроволнового. Необходимо учитывать, что модификация ПАН/ПВС-пленок часто приводит к изменению их оптических характеристик, в том числе и положению характеристического максимума поглощения.

В результате исследований выявлено, что самым оптимальным способом модификации ПАН/ПВС-пленок, с точки зрения применения их в качестве основы для тест-систем, является выдержка при высокой температуре (100 °C) в течение 30 мин. При этом образцы обладают влагостойкостью, а положение характеристического максимума поглощения не изменяется.

## Литература / References

- Легонькова О. А. Биоразлагаемые полимерные материалы в пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*. 2007, 6:26–28. Legon'kova O. A. Biorazlagаемye polimernye materialy v pishchevoj promyshlennosti. *Food industry*. 2007. 6:26–28.
- Окладникова В. О., Очиров О. С., Григорьева М. Н., Стельмак С. А. Полимер-полимерная смесь поливинилового спирта и полигексаметиленгуанидин гидрохлорида для задач антимикробной защиты поверхностей. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2022, 12(4(43)):627–632. Okladnikova V. O., Ochirov O. S., Grigor'eva M. N., Stel'mak S. A. Polimer-polimernayasmes' polivinilovogo spirta i poligeksametilen-guanidin gidrohlorida dlya zadach antimikrobnoj zashchity poverhnostej. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotehnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022. 12(4(43)):627–632.
- Фарус О. А. Биоразлагаемые пленочные материалы на основе гидрогелей полимеров и наночастиц серебра. *Наноиндустрия*. 2022, 15(3–4(114)):196–203. Farus O. A. Biorazlagаемye plenochnye materialy na osnove gidrogelej polimerov i nanochastic serebra. *Nanoindustriya = Nanoindustry*. 2022. 15(3–4(114)):196–203.
- Золотов Ю. А., Иванов В. М., Амелин В. Г. Химические тест-методы анализа. М.: Едиториал УРСС, 2002. 304 с. Zolotov Yu. A., Ivanov V. M., Amelin V. G. *Himicheskie test-metody analiza*. Moscow. Editorial URSS Publ., 2002. 304 p.
- Марченко З., Бальцехак М. Методы спектротометрии в УФ и видимой областях в неорганическом анализе. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. 711 с. Marchenko Z., Bal'cezhak M. *Metody spektrofotometrii v UF i vidimoy oblastyah v neorganicheskem analize*. Moscow. Binom. Laboratoriya aznaniy Publ., 2007. 711 p.
- Асулян Л. Д., Бояркина В. В., Агаева М. В. Гидрогели поливинилового спирта как влагоудерживающие сорбенты. *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. 2021. 1:13–19. Asulyan L. D., Boyarkina V. V., Agaeva M. V. *Cidrogeli polivinilovogo spirta kak vlagouderzhivayushchie sorbenty*. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki. = Izvestiya Tula State University. Natural sciences*. 2021. 1:13–19.
- Abduletip D. T., Urkimbayeva P. I., Mun G. A., Kenessova Z. A., Khavilhairat B. Application of composite materials based on polyvinyl alcohol in phytoremediation soil. *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*. 2020. 2(98):7–14.
- Студеникина Л. Н., Домарева С. Ю., Голенских Ю. Е., Матвеева А. В., Мельников А. А. Повышение прочности водостойкости материалов на основе поливинилового спирта с помощью борной кислоты. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2022. 84(2(92)): 249–255. Studenikina L. N., Domareva S. Yu., Golenskih Yu. E., Matveeva A. V., Mel'nikov A. A. *Povyshenie prochnosti i vodostojkosti materialov na osnove polivinilovogo spirta s pomoshch'yu bornoj kisloty*. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022. 84(2(92)): 249–255.
- Ахметшина А. И., Давлетбаев Р. С., Давлетбаева И. М., Михайлова А. В., Гумеров А. М., Дебердеев Р. Я. Иммобилизация органических реагентов на оптически прозрачные мезопористые полимеры, аналитическое применение. *Журнал прикладной химии*. 2015. 88(3):490–496. Akhmetshina A. I., Davletbayev R. S., Davletbayeva I. M., Mikhailova A. V., Gumerov A. M., Deberdeev R. Ya. *Immobilization of organic reagents on optically transparent mesoporous polymers, analytical application*. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2015. 88(3):490–496.
- Труфакина Л. М. Свойства полимерных композитов на основе поливинилового спирта. *Известия Томского политехнического университета*. 2014. 325(3):92–97. Trufakina L. M. *Svojstva polimernyh kompozitov na osnove polivinilovogo spirta*. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2014. 325(3):92–97.
- Топорова Ю. А., Орлова А. О., Маслов В. Г., Баранов А. В., Федоров А. В. Условия диссоциации комплекса полупроводниковая квантовая точка/органическая молекула в тонких полимерных пленках. *Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики*. 2009. 5(63):36–42. Toporova Yu. A., Orlova A. O., Maslov V. G., Baranov A. V., Fedorov A. V. *Uslovija dissociacii kompleksa poluprovodnikovaya kvantovaya tochka/organicheskaya molekula v tonkih polimernyh plenkah*. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2009. 5(63):36–42.
- Подорожко Е. А., Бузин М. И., Голубев Е. К., Щербина М. А., Лозинский В. И. Изучение криоструктурирования полимерных систем. 59. Влияние криогенной обработки предварительно деформированных криогелей поливинилового спирта на их физико-химические свойства. *Коллоидный журнал*. 2021. 83(5):602–610. Podorozhko E. A., Buzin M. I., Golubev E. K., SHCHerbina M. A., Lozinskij V. I. *Izuchenie kriostrukturirovaniya polimernyh sistem. 59. Vliyanie kriogennoj obrabotki predvaritel'no deformatirovannyh kriogelей polivinilovogo spirta na ih fiziko-himicheskie svojstva*. *Colloid Journal*. 2021. 83(5):602–610.
- Лозинский В. И., Дамшкан Л. Г., Курочкин И. Н., Курочкин И. И. Изучение криоструктурирования полимерных систем. 33. Влияние скорости охлаждения водных растворов поливинилового спирта при их замораживании на физико-химические свойства и пористую структуру получаемых криогелей. *Коллоидный журнал*. 2012. 74(3):343. Lozinskij V. I., Damshkan L. G., Kurochkin I. N., Kurochkin I. I. *Izuchenie kriostrukturirovaniya polimernyh sistem. 33. Vliyanie skorosti ohlazhdeniya vodnyh rastvorov polivinilovogo spirta pri ih zamorazhivaniyu na fiziko-himicheskie svojstva i poristuyu strukturu poluchaemyh kriogelей*. *Colloid Journal*. 2012. 74(3):343.
- Казберов Р. Я. Поливиниловый спирт и влияние различных видов облучения на его свойства. Современные тенденции и проблемы современной радиохимии и фармацевтики в работе научно-образовательных центров. М.: Издательский дом «Граница», 2022. С. 271–286. Kazberov R. Ya. *Polivinilovjspirt i vliyanie razlichnyh vidov oblucheniya na ego svojstva*. Sovremennye tendencii i problem sovremennoj radiohimii i farmacevtiki v rabote nauchno-obrazovatel'nyh centrov. Moscow. Izdatel'skij dom Granica Publ. 2022. PP. 271–286.

15. Ломовской В.А., Суворова О.В., Абатурова Н.А., Ломовская Н.Ю., Кульюхин С.А., Павлов Ю.С. Влияние ионизирующего облучения на сегментальную подвижность цепей макромолекул поливинилового спирта. *Химия высоких энергий*. 2022. 56(5):388–400.
  16. Lomovskoj V.A., Suvorova O.V., Abaturova N.A., Lomovskaya N.YU., Kulyuhin S.A., Pavlov Yu.S. Vliyanie ioniziruyushchego oblucheniya na segmental'nyu podvizhnost' cerez makromolekul polivinilovogo spirta. *High Energy Chemistry*. 2022. 56(5):388–400.
  16. Кухтенкова А.А., Ломовской В.А., Горбатенко К.И. Релаксационные явления в поливиниловом спирте. *Тонкие химические технологии*. 2015. 10(1):83–89.
  17. Kuhtenkova A. A., Lomovskoj V. A., Gorbatenko K. I. Relaksacionnye yavleniya v polivinilovom spirte. *Fine Chemical Technologies*. 2015. 10(1):83–89.
  17. Чихачева И.П., Зубов В.П., Николаева Е.И., Кузьмичева Г.М., Кубракова И.В., Торопченова Е.С., Пуряева Т.П. Влияние микроволнового излучения на фазовое состояние и свойства поливинилового спирта. *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2010. 53(3):93–97.
  17. Chihacheva I.P., Zubov V.P., Nikolaeva E.I., Kuz'micheva G.M., Kubrakova I.V., Toropchenova E.S., Puryaeva T.P. Vliyanie mikrovolnovogo izlucheniya na fazovoe sostoyanie i svojstva polivinilovogo spirta. *Russian Journal of Chemistry and Chemical Technology*. 2010. 53(3):93–97.
  18. Федусенко И.В., Кленин В.И., Клохтина Ю.И., Максименко Б.Н., Перовский Э.В. Влияние электромагнитного поля СВЧ-диапазона на морфологию водных растворов поливинилового спирта. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*. 2007. 7(1):48–53.
  18. Fedusenko I. V., Klenin V. I., Klokhina Yu. I., Maksimenko B. N., Perovskij E. V. Vliyanie elektromagnitnogo polya SVCh-diapazona na morfologiyu vodnyh rastvorov polivinilovogo spirta. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*. 2007. 7(1):48–53.
  19. Каримов С.К., Эгамов М.Х. Влияние температуры на механические свойства композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла. *Ученые записки Худжандского государственного университета им. академика Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки*. 2022. 62(3):61–64.
  19. Karimov S. K., Egamov M. H. Vliyanie temperatury na mekhanicheskie svojstva kompozitnyh plenok na osnove polimera i zhidkogo kristalla. *Uchenye zapiski Hudzhandskogo gosudarstvennogo universiteta im. akademika B. Gafurova. Seriya: Estestvennye i ekonomicheskienauki = Scientific notes of Khujand State University named after academician B. Gafurov. Series: Natural and Economic Sciences*. 2022. 62(3):61–64.
  20. Труфакина Л.М., Петренко Т.В. Влияние температуры и наполнителя на свойства полимерных композиций на водной основе. *Известия Томского политехнического университета*. 2010. 317(3):131–134.
  20. Trufakina L. M., Petrenko T. V. Vliyanie temperatury i napolnitelya na svojstva polimernyh kompozicij na vodnoj osnove. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2010. 317(3):131–134.
  21. Лазарева Т.Г., Ильющенко И.А., Алимов И.Ф., Ермоленко И.Н. Молекулярная подвижность в пленках термообработанного поливинилового спирта. *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*. 1995. 5: 879–882.
  21. Lazareva T. G., Il'yushchenko I. A., Alimov I. F., Ermolenko I. N. Molekulyarnaya podvizhnost' v plenkah termoobrabotannogo polivinilovogo spirta. *Polymer Science, Series B*. 1995. 5: 879–882.
  22. Власова В.А., Курская Е.А., Подорожко Е.А. Влияние отжига на морфологию и физико-химические свойства криогелей поливинилового спирта. *Успехи в химии и химической технологии*. 2022. 36(6(255)):15–17.
  22. Vlasova V. A., Kurskaya E. A., Podorozhko E. A. Vliyanie otzhiga na morfologiyu i fiziko-himicheskie svojstva kriogelей polivinilovogo spirta. *Uspekh v himii i himicheskoj tekhnologii = Advances in chemistry and chemical technology*. 2022. 36(6(255)):15–17.

Статья поступила в редакцию 13.02.2023

Принята к публикации 20.03.2023