

DOI: 10.26693/jmbs06.02.242

УДК 547. 426.1- 126:547.03

Чеканова В. В., Пахомова Ю. С., Компанієць А. М.,

Кіреєв. А., Гвоздюк Я. В.

## ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МІЦЕЛОУТВОРЕННЯ РОЗЧИНІВ ПОЛІВІНІЛОВОГО СПИРТУ РІЗНИХ МОЛЕКУЛЯРНИХ МАС

Інститут проблем кріобіології і кріомедицини НАН України, Харків,  
Україна

yana.hvozdiuk@gmail.com

Досліджені фізико-хімічні властивості (поверхневий натяг, динамічна в'язкість, температури кристалізації та плавлення) розчинів полівінілового спирту молекулярної маси 9, 31 та 72 кДа. Поверхневий натяг та критична концентрація міцелоутворення визначались методом сталагмометрії, а динамічна в'язкість – за допомогою віскозиметра Оствальда. Температура кристалізації та плавлення визначалися в охолодженій модифікованій камері програмного заморозувача «УОП-6» зі швидкістю 2°C/хв. Кріомікроскопічні дослідження проводили на поляризаційному мікроскопі «МІН-8» Поверхневий натяг моделює взаємодію розчинів полівінілового спирту з ліпідним шаром біомембран та свідчить про гідрофобні властивості розчинів. В'язкість розчинів полівінілового спирту характеризує їх взаємодію з молекулами води та відображає гідрофільні взаємодії.

**Мета роботи** - визначити фізико-хімічні властивості полівінілового спирту, що відображають гідрофільно-гідрофобні взаємодії у досліджених розчинах, та міцелоутворення розчинів полівінілового спирту різних молекулярних мас.

**Матеріал та методи.** Проведені дослідження по визначенню показників динамічної в'язкості та густини 0,1-1% розчинів полівінілового спирту молекулярної маси 9, 31 кДа показали, що з підвищенням концентрації полівінілового спирту дані показники збільшуються, що призводить до підвищення гідрофільності досліджених розчинів.

**Результати.** При дослідженні поверхневого натягу даних розчинів полівінілового спирту з підвищенням концентрації показник поверхневого натягу зменшується, що приводить до зниження гідрофобних властивостей полімеру.

Встановлено, що у розчинах полівінілового спирту з молекулярною масою 9 та 31 кДа із зміною концентрації полівінілового спирту до 0,5% температури кристалізації та плавлення знижуються від -5°C до -6°C, при цій температурі починається кристалізація та плавлення розчинів.

**Висновки.** Проведено дослідження міцелоутворення у розчинах полівінілового спирту різних молекулярних мас, побудовані ізотерми поверхневого натягу, крапка зламу на ізотермі відповідає

критичним концентраціям міцелоутворення. Встановлено значення критичної концентрації міцелоутворення полівінілового спирту молекулярних мас 9, 31, 72 кДа. Гідрофобні ланцюги полівінілового спирту 9 та 31 кДа формують гідрофобні порожнини в структурі міцел, які мають здатність зменшувати рекристалізаційну активність.

**Ключові слова:** поверхневий натяг, динамічна в'язкість, полівініловий спирт, температура плавлення, температура кристалізації, міцелоутворення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дана робота є фрагментом НДР «Дослідження властивостей полівінілового спирту як інгібітора рекристалізації у кріозахисних середовищах на основі енто- і екзоцелюлярних кріопротекторів», № державної реєстрації 0116U003492.

**Вступ.** Актуальною потребою теперішнього часу є розробка нових ефективних засобів кріозахисту, нових кріоконсервантів з посиленою їх дією на пригнічення рекристалізації льоду для покращення кріозбереженості клітин, тканин і органів людини [1, 2].

Одним з важливих факторів кріопшкодження клітин є неконтрольований ріст кристалів льоду на етапі відігріву біологічного матеріалу – рекристалізація [3-5]. Перспективним напрямком вирішення цієї задачі є розробка кріоконсервантів, в яких поряд з традиційними кріопротекторами використовуються синтетичні сполуки-антифризи, яким, подібно антифризним білкам природного походження, притаманна специфічна антирекристалізаційна активність [6, 7].

З переліку цих сполук особливої уваги заслуговує синтетичний полімер – полівініловий спирт (ПВС) [8, 9]. Попередні дослідження співробітників нашого інституту показали, що ПВС утворює гідрофобні домени, завдяки цьому сполука має властивість активного інгібітора рекристалізації льоду, підвищує ефективність заморожування деяких клітин, зокрема – еритроцитів [10, 11].

Для розробки нових кріоконсервантів, які містять ПВС, з метою вивчення механізму їх дії, встановлення взаємозв'язку окремих характеристик зі

збереженістю клітин, важливим етапом є вивчення фізико-хімічних властивостей розчинів ПВС.

Нами застосовано комплекс фізико-хімічних властивостей, які включають динамічну в'язкість, густину, поверхневий натяг, температури кристалізації та плавлення. Динамічна в'язкість розчинів кріопротекторів дає представлення о взаємодії речовин з водою, а поверхневий натяг – до здібності кріопротекторів адсорбуватися на поверхні мембран клітин.

**Мета дослідження** – дослідити фізико-хімічні властивості розчинів ПВС, що відображають гідрофільно-гідрофобні взаємодії у розчинах полімеру, та міцелоутворення розчинів ПВС різних молекулярних мас.

**Матеріал та методи дослідження.** Для кріоконсервування клітин крові застосовувались: 0,1-0,2%, 0,5%, 1% розчини ПВС з молекулярними масами 9 кДа, 31 кДа та 72 кДа, які приготовлені на фосфатно-сольовому буфері (ФСБ), тому було проведено дослідження їх фізико-хімічних властивостей – густини, в'язкості та поверхневого натягу, які визначали за методами [12-14]. Поверхневий натяг та міцелоутворення ПВС різних молекулярних мас визначалось сталагмометричним методом. Для визначення міцелоутворення були приготовлені водні розчини ПВС у концентраціях 0,05%; 0,07%; 0,10%; 0,15%; 0,25%; 2,5% за масою. Динамічна в'язкість досліджувалась за допомогою віскозиметра Оствальда.

Температуру кристалізації та плавлення визначали в охолодженій модифікованій камері програмного заморожувача «УОП-6» (Україна) зі швидкістю 2°С/хв. Кріомікроскопічні дослідження проводили на поляризаційному мікроскопі «МИН-8» (Росія). Дослідження проводили у водному термостаті при кімнатній температурі 20±1°С. Похибка термостатування складала ±1°С, при визначенні поверхневого натягу (σ±1мДж/м<sup>2</sup>), а густини ±1°С.

**Результати дослідження і обговорення.** Раніше в роботах [15, 16] було досліджено залежність фізико-хімічних властивостей ПВС від кількості ацетатних, гідроксильних груп, а також наявності міжмолекулярних зв'язків молекул ПВС та води, що призведе до утворення асоціатів та агрегатів.

Більш того, при одному і тому вмісті ацетатних груп такі властивості, як токсичність та поверхневий натяг, у значному ступені визначаються довжиною та послідовністю блоків з однакових ланцюгів [15]. Проте питання щодо дослідження фізико-хімічних властивостей полівінілових спиртів, які дають представлення о гідрофільних та гідрофобних взаємодіях, що протікають у розчинах полімеру вивчено недостатньо. Загальною рисою розчинів ПВС є залежність їх реологічних характеристик від концентрації полімеру та його властивостей, таких,

як молекулярна маса та розташування полімерних ланцюгів [16]. Отже, вивчення реологічної поведінки розчинів ПВС дає інформацію про супрамолекулярну структуру таких систем, а також про наявність внутрішньо- та міжмолекулярних водневих зв'язків, які можуть призвести до таких явищ, як фазовий розподіл та гелеутворення [17].

Дослідження по визначенню значень динамічної в'язкості та густини розчинів ПВС молекулярної маси 9 кДа, 31 кДа показали (табл. 1, 2), що з підвищенням концентрації ПВС дані показники збільшуються, особливо для 1% розчину. Водні розчини ПВС нестабільні та при зберіганні розчинів з концентрацією 1% (мас.) з часом спостерігається збільшення їх помутніння та в'язкості внаслідок утворення асоціатів макромолекул. Полімерні ланцюги, що знаходяться у розчинах ПВС, завжди утримують воду, це може призвести до збільшення їх розмірів, отже, к підвищенню в'язкості. Таке зростання показника в'язкості в залежності від концентрації ПВС свідчить про збільшення кількості молекул води, що зв'язуються з молекулами ПВС, тобто про збільшення гідрофільності досліджених розчинів у прямій залежності від концентрацій сполуки.

**Таблиця 1** – Фізико-хімічні властивості розчинів полівінілового спирту з молекулярною масою 9 кДа (σ±1мДж/м<sup>2</sup>)

п/п	Концентрація	Густина, ρ, г/см <sup>3</sup>	В'язкість, Па с	Поверхневий натяг, σ, мДж/м <sup>2</sup>
1	0,1% ПВС	0,9876	7,9·10 <sup>-4</sup>	53,66
2	0,2% ПВС	1,0298	8,8·10 <sup>-4</sup>	49,92
3	0,4% ПВС	1,0495	9,0·10 <sup>-4</sup>	47,30
4	1,0% ПВС	1,0972	1,13·10 <sup>-3</sup>	46,59

**Таблиця 2** – Фізико-хімічні властивості полівінілового спирту з молекулярною масою 31 кДа (σ±1мДж/м<sup>2</sup>)

п/п	Концентрація розчинів ПВС, %	Поверхневий натяг, мДж/м <sup>2</sup>	В'язкість, Па·с, 10 <sup>-3</sup>
1	0,1	48,44	1,54
2	0,2	47,66	1,62
3	0,5	46,09	1,92
4	1,0	44,74	2,40

При дослідженні поверхневого натягу 0,1-1% розчинів ПВС молекулярних мас 9 та 31 кДа встановлено залежність показників поверхневого натягу від концентрації: з підвищенням концентрації ПВС показники поверхневого натягу зменшуються за рахунок адсорбції полівінілового спирту на поверхні розподілу фаз [18], тобто, зменшуються гідрофобні властивості ПВС.

Наявність у ПВС 2-х фаз (кристалічної й аморфної) виявляє суттєвий вплив на поведінку полімеру при нагріванні. ПВС не має різко вираженої точки плавлення, а плавиться в області температур від 220 до 240°C. Це можна пояснити тим, що початкова кристалізація ПВС у процесі його отримання відбувається за температури нижчої  $T_c$  полімеру в результаті орієнтації найближче розташованих ланцюгів. Температура кристалізації та температура плавлення залежать від молекулярної маси полімеру та його концентрації [16, 19, 20].

Дослідження фазової поведінки та фізичного стану ПВС, а також міжмолекулярних взаємодій між сполукою та водою є важливим етапом вивчення механізмів їх захисної дії.

До фазових переходів першого роду відноситься кристалізація та плавлення. Припускаємо, що збільшення молекулярної маси ПВС призведе до зміни фазових переходів. З підвищенням концентрації розчинів ПВС спостерігається зменшення значень температур кристалізації та плавлення (табл. 3).

**Таблиця 3** – Значення температур кристалізації та плавлення ПВС різних молекулярних мас

№ п/п	Концентрація розчинів ПВС	Молекулярна маса ПВС		Молекулярна маса ПВС	
		9 кДа	31 кДа	9 кДа	31 кДа
		Температура кристалізації, °С		Температура плавлення, °С	
1	0,1%	-2,0	-4,0	-2,0	-4,0
2	0,5%	-5,0	-6,0	-5,0	-6,0

У розчинах ПВС з молекулярною масою 9 кДа з підвищенням концентрації до 0,5% показники температури кристалізації та плавлення знижуються до -5,0 °С, а у розчинах ПВС з молекулярною масою 31 кДа підвищення концентрації призводить до зниження температури -6,0 °С, при цій температурі починається кристалізація та плавлення розчинів. Кристалізація спостерігається при нагріванні ПВС за рахунок росту вихідних кристалів і утворення нових.

Поєднання вказаних факторів призводить до висновку, що на ці показники впливають концентрації та молекулярні маси полімеру.

Полівінілові спирти відносяться до поверхнево-активних речовин, які при критичних концентраціях міцелоутворення (ККМ) можуть формувати міцели. Міцелоутворення можна розглядати як проміжне явище між розподілом на фази і утворенням міцел [21, 22].

Значення ККМ відповідають дійсній розчинності ПВС. При вищій концентрації утворюється колоїдна система. Дослідження процесу міцело-

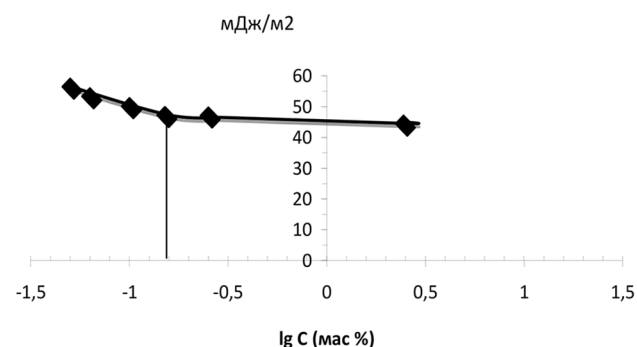
утворення проводилось у розчинах ПВС з молекулярною масою 9, 31, 72 кДа. За експериментальними даними, які представлені в **таблиці 4**, розраховані показники поверхневого натягу ПВС різних молекулярних мас та побудовані ізотерми поверхневого натягу у логарифмічних координатах  $\sigma - \lg c$  розчинів ПВС (рис. 1-3).

**Таблиця 4** – Поверхневий натяг ПВС при різних молекулярних масах ( $\sigma \pm 10$ ) і концентраціях

№ п/п	Концентрація водних розчинів ПВС, %	Поверхневий натяг, $\sigma$ , мДж/м <sup>2</sup>		
		Молекулярна маса		
		9 кДа	31 кДа	72 кДа
1	0,05	56,51	58,77	62,01
2	0,07	53,36	57,96	61,83
3	0,10	50,16	55,94	60,36
4	0,15	47,29	54,55	60,04
5	0,25	47,15	53,80	59,19
6	2,50	44,51	50,42	54,49

Отримані результати є підтвердженням того, що з підвищенням концентрації криопротектора показники поверхневого натягу, як спостерігалось раніше, зменшуються за рахунок адсорбції полівінілового спирту на межі розподілу фаз [18].

На **рисунку 1** побудована ізотерма поверхневого натягу розчинів ПВС молекулярної маси 9 кДа, яка знижується з підвищенням їх концентрації до ККМ, яка відповідає 0,25%-ної концентрації сполуки, при подальшому збільшенні концентрації поверхневий натяг перестає істотно змінюватися. Це зумовлено тим, що при збільшенні концентрації вище ККМ утворюються міцели. Міцели поверхнево неактивні і не переходять у адсорбційний шар, т. б., при концентраціях вище ККМ склад поверхнево адсорбційного шару не змінюється.

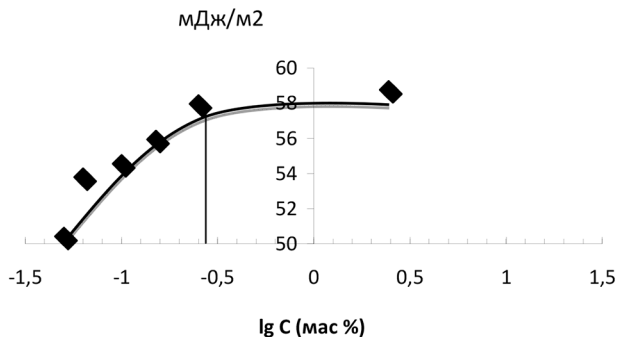


**Рис. 1.** Залежність поверхневого натягу водних розчинів ПВС молекулярної маси 9 кДа від логарифма концентрації

Ізотерма  $\sigma = f(\lg c)$  розчинів ПВС молекулярної маси 31 кДа (**рис. 2**) у зоні низьких концентрацій ПВС має криволінійну ділянку, котра відповідно за рівнянням Гібса адсорбція ( $\Gamma$ ) на міжфазовій межі підвищується з ростом концентрації. Криволінійна

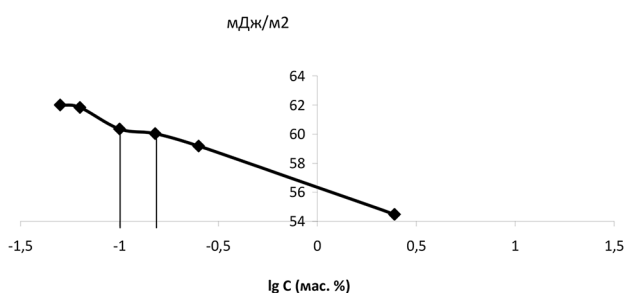
ділянка ізотерми переходить у пряму, адсорбція якої має максимальне значення. При концентрації  $\lg -0,63$  визначається ККМ і дорівнює 0,20%.

Подальше збільшення концентрації ПВС у об'ємі розчину призводить до утворення міцел і поверхневий натяг практично не змінюється.



**Рис. 2.** Залежність поверхневого натягу водних розчинів ПВС молекулярної маси 31 кДа від логарифма концентрації

Досліджено міцелоутворення водних розчинів ПВС з молекулярною масою 72 кДа, яке представлено на **рис. 3**.



**Рис. 3.** Залежність поверхневого натягу водних розчинів ПВС молекулярної маси 72 кДа від логарифма концентрації

Побудована ізотерма є типовою для міцелоутворених розчинів: спостерігається зниження поверхневого натягу до появи характерного зламу при досягненні критичної концентрації міцелоутворення. Крапка зламу на ізотермі відповідає ККМ<sub>1</sub>, яка знаходиться на перехрещенні з прямою ділянкою поверхневого натягу і має значення 0,10%. Далі на прямій ділянці з'являється ККМ<sub>2</sub> і має значення 0,15%. При подальшому збільшенні концентрації ПВС у об'ємі розчину утворюються міцели. Отже, ПВС молекулярної маси 72 кДа має дві ККМ.

У роботі [23] автори спостерігали, що при ККМ<sub>1</sub> утворюються міцели сферичної форми, які змінюються при ККМ<sub>2</sub> в асиметричну. ККМ<sub>2</sub> є єдиним міцелярним переходом.

Таким чином, у результаті міцелоутворення ПВС молекулярної маси 72 кДа виявлено дві критичні концентрації міцелоутворення - ККМ<sub>1</sub> та ККМ<sub>2</sub>. Виявлення ККМ<sub>2</sub> зв'язуємо з завершенням росту у розчинах ПВС сферичних міцел. Ступень знижен-

ня ККМ залежить від полярності розчиненої речовини. Спирти розподіляються між об'ємом розчину і міцелами. Причому, чим більша спорідненість спирту до міцел, тим більше молекули спирту їх стабілізують [21, 24, 25]. Молекули ПВС здатні адсорбуватися на поверхні міцел, що призводить до зниження ККМ. З підвищенням молекулярної маси ПВС від 9 кДа до 72 кДа знижуються значення ККМ від 0,22% до 0,10%.

У попередній роботі [10] проведено дослідження, в якому було встановлено формування локальних гідрофобних областей і утворення асоціатів, ймовірно міцелярного типу. Припускаємо, що гідрофобні ланцюги ПВС м.м 9 та 31 кДа забезпечують формування гідрофобних порожнин у структурі міцел, які здатні зменшувати рекристалізаційну активність.

### Висновки

1. Визначені показники фізико-хімічних властивостей розчинів ПВС молекулярних мас 9 кДа, 31 кДа та 72 кДа, які характеризують гідрофобно-гідрофільні взаємодії - густину, поверхневий натяг, динамічну в'язкість, температури кристалізації та плавлення. Встановлено, що з підвищенням концентрацій ПВС показники густини та динамічної в'язкості збільшуються, що свідчить про збільшення гідрофільності досліджуваних розчинів ПВС у прямій залежності від концентрацій сполук.
2. Досліджено, що показники поверхневого натягу ПВС з підвищенням концентрації у розчинах зменшувалися внаслідок орієнтації молекул ПВС на поверхні розподілу фаз, що і призводить до зниження показників поверхневого натягу розчинів сполуки, та свідчить про зниження їх гідрофобності.
3. Визначення температур кристалізації та плавлення розчинів ПВС, які залежать від молекулярної маси та концентрації полімеру.
4. Вперше показано, що полівінілові спирти 9 кДа, 31 кДа та 72 кДа відносяться до міцелоутворюючих сполук. При збільшенні молекулярної маси від 9 кДа до 72 кДа зменшуються значення ККМ за рахунок адсорбції молекул ПВС на поверхні міцел. Припускаємо, що гідрофобні ланцюги ПВС м.м 9 та 31 кДа забезпечують формування гідрофобних порожнин у структурі міцел, які здатні зменшувати рекристалізаційну активність.
5. Отримані дані свідчать про залежність фізико-хімічних показників від концентрації та молекулярної маси сполуки.

**Перспективи подальших досліджень.** Результати проведеної роботи є підставою для проведення подальших досліджень, спрямованих на розробку багатоконпонентних середовищ на основі комбінації різних кріопротекторних сполук з полівініловим спиртом для заморожування клітинних суспензій.

## References

1. Mazur P. Freezing of living cells: Mechanisms and implications. *Am J Physiol.* 1984; 247: 125–42. doi: 10.1152/ajpcell.1984.247.3.C125
2. Fowler A, Toner M. Cryo-injury and biopreservatio. *Ann NY Acad Sci.* 2005; 1066: 119–35. doi: 10.1196/annals.1363.010
3. Jin B, Kusanagi K, Ueda M, Seki S, Valdez DM Jr, Edashige K, Kasai M. Formation of extracellular and intracellular ice during warming of vitrified mouse morulae and its effect on embryo survival. *Cryobiology.* 2008; 56: 233–40. doi: 10.1016/j.cryobiol.2008.03.04
4. Congdon T, Notman R, Gibson MI. Antifreeze (glyco)protein mimetic behavior of poly(vinyl alcohol): detailed structure ice recrystallization inhibition activity study. *Biomacromolecules.* 2013; 14: 1578–86. doi: 10.1021/bm400217j
5. Deller RC, Vatish M, Mitchell DA, Gibson MI. Synthetic polymers enable non-vitreous cellular cryopreservation by reducing ice crystal growth during thawing. *Nature Communications.* 2014; 5: 3244–51. doi: 10.1038/ncomms4244
6. Gibson MI, Barker CA, Spain SG, Albertin L, Cameron NR. Inhibition of ice crystal growth by synthetic glycopolymers: implications for the rational design of antifreeze glycoprotein mimics. *Biomacromolecules.* 2009; 10: 328–33. doi: 10.1021/bm801069x
7. Matsumura K, Hyon SH. Polyampholytes as low toxic efficient cryoprotective agents with antifreeze protein properties. *Biomaterials.* 2009; 30: 4842–49. doi: 10.1016/j.biomaterials.2009.05.025
8. Gibson MI. Slowing the growth of ice with synthetic macromolecules: beyond antifreeze (glyco) proteins. *Polym Chem.* 2010; 1: 1141–52. doi: 10.1039/C0PY00089B
9. Weng L, Swee A, Toner M. Role synthetic antifreeze agents in catalyzing ice nucleation. *Cryobiology.* 2018; 84: 91–4. doi: 10.1016/j.cryobiol.2018.08.010
10. Dyubko T, Pivovarenko V, Chekanova V, Hvozdiuk Y, Pakhomova Y, Kompaniets A, et al. Study of aggregation of polyvinyl alcohols (9 and 31 kDa) in aqueous solution by fluorescence probing. *Biophysical Bulletin.* 2020; 44: 5–15 [Ukrainian]
11. Hvozdiuk Yana V, Chekanova Valentina V, Pakhomova Yulia S. Physicochemical properties and cryoprotective action of solutions of polyvinyl alcohol, glycerol and media based on their combinations during freezing of red blood cells. *Problems of Cryobiology and Cryomedicine.* 2020; 30(3): 288. [Ukrainian]
12. Voyutskiy SS, Panich RM. *Praktikum po kolloidnoy khimii i elektronnoy mikroskopii* [Workshop on Colloid Chemistry and Electron Microscopy]. M: Chemistry; 1974. 224 p. [Russian]
13. Gorbachev SV. *Praktikum po fizicheskoy khimii* [Physical chemistry worksop]. M: Higher school; 1974. 496 p. [Russian]
14. Rachinskiy FYu, Rachinskaya MF. *Laboratornaya tekhnika* [Laboratory technique]. L: Chemistry; 1982. 284 p. [Russian]
15. Damas C, Leprince T, Viet Ngo ThH, Coudert R. Behavior study of polyvinyl alcohol aqueous solution in presence of short chain micelle – forming polyols. *Colloid Polymer Science.* 2008; 286: 999–007. doi: 10.1007/s00396-008-1862-6
16. Rosenberg ME. *Polimery na osnove vinilatsetata* [Vinyl acetate based polymers]. L: Chemistry; 1983. 176 p. [Russian]
17. Chen C, Zhy Y, Bao H, Zhao P. Solvent-assisted poly(vinylalcohol) gelated crystalline colloidal array protonic crystals. *Soft matter.* 2011; 7: 915–21. doi: 10.1039/C0SM00923G
18. Koganovsky AM, Levchenko TM, Kirichenko VA. *Adsorbtsiya rastvorenykh veshchestv* [Adsorption of solutes]. K: Naykova Dumka; 1977. 130 – 32. [Ukrainian].
19. Choi JH, Kos W. Phase Behavior and Physical Gelation of High molecular weight syndiotactic poly (vinyl alcohol) solution. *Macromolecules.* 2001; 34: 2964–72.
20. David T, Peggy G. Self-nucleation and crystallization of polyvinyl alcohol. *Jornal of Thermal Analysis and Calorimetry.* 2017; 127 (1): 885–94.
21. Holmberg K. *Surfactants and polymers in aqueous solutions.* M: Binom. Knowledge Laboratory; 2007. 528 p.
22. Rusanov AI. *Mitselloobrazovanie v rastvorakh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv* [Micel formation in surfactant solutions]. SPb: Chemistry; 1992. 528 p. [Russian]
23. Serdyuk AI, Kucher RV. *Mitsellyarnye perekhody v rastvorakh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv* [Micellar transitions in a solution of surfactants]. K: Naukova Dumka; 1981. 202 p. [Ukrainian]
24. Chekanova VV, Pakhomova YuS, Kompaniets AM. Mitselloobrazovanie v rastvorakh oksietilirovannykh glitserinov i kombinirovannykh sredakh na ikh osnove [Micelle formation in solutions of ethoxylated glycerols and combined media]. *Bulletin of KhNU im VN Karazina. Seriya: Chemistry.* 2016; 39–44. [Ukrainian]

25. Chekanova VV, Pakhomova YUS, Dyubko TS, Kompaniets AM. Adsorption activity and micelle formation in solutions of oxyethylated glycerins with cryoprotective properties during blood cell. *Tezice of the conference «Oligomers»*, 2017. p. 201.

УДК 547. 426.1- 126:547.03

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЕ РАСТВОРОВ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА РАЗНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАСС**

*Чеканова В. В., Пахомова Ю. С., Компаниец А. М., Киреев В. А., Гвоздюк Я. В.*

**Резюме.** Исследованы физико-химические свойства (поверхностное натяжение, динамическая вязкость, температуры кристаллизации и плавления) растворов поливинилового спирта молекулярной массы 9, 31 и 72 кДа. Поверхностное натяжение и критическая концентрация мицеллообразования определялось методом сталагмометрии, а динамическая вязкость – с помощью вискозиметра Оствальда. Температура кристаллизации и плавления определялась в охлажденной модифицированной камере программного замораживателя «УОП-6» со скоростью 2°С/мин. Криомикроскопические исследования проводили на поляризационном микроскопе «МИН-8». Поверхностное натяжение моделирует взаимодействие растворов поливинилового спирта с липидным слоем биомембран и свидетельствует о гидрофобных свойствах веществ. Вязкость растворов поливинилового спирта характеризует их взаимодействие с молекулами воды и отображает гидрофильные взаимодействия.

*Цель работы* – определить физико-химические свойства поливинилового спирта, которые характеризуют гидрофильно-гидрофобные взаимодействия в исследованных растворах и мицеллообразование растворов поливинилового спирта разных молекулярных масс.

*Материал и методы.* Проведены исследования по определению показателей динамической вязкости и плотности 0,1-1% растворов поливинилового спирта молекулярной массы 9, 31 кДа показали, что с повышением концентрации поливинилового спирта данные показатели увеличиваются, что приводит к повышению гидрофильности исследованных растворов.

*Результаты.* Исследования динамической вязкости и плотности 0,1%-1% растворов поливинилового спирта молекулярной массы 9, 31 кДа показали, что с повышением концентрации поливинилового спирта эти показатели увеличиваются, что приводит к повышению гидрофильности растворов.

Показано, что поверхностное натяжение растворов поливинилового спирта с повышением концентрации уменьшается, что приводит к понижению гидрофобных свойств полимера.

*Выводы.* Установлено, что в 0,5% растворах поливинилового спирта молекулярной массы 9 и 31 кДа температуры кристаллизации и плавления понижаются от -5 до -6°С. При этих значениях температур начинается кристаллизация и плавление растворов.

Проведено исследование мицеллообразования в растворах поливинилового спирта разных молекулярных масс, построены изотермы поверхностного натяжения, определена точка излома на изотерме, соответствующая критическим концентрациям мицеллообразования. Установлены значения критической концентрации мицеллообразования поливинилового спирта молекулярных масс 9, 31, 72 кДа. Гидрофобные звенья поливинилового спирта м.м 9 и 31 кДа формируют гидрофобные полости в структуре мицелл, которые способны уменьшать рекристаллизационную активность.

**Ключевые слова:** поверхностное натяжение, динамическая вязкость, поливиниловый спирт, температура плавления, температура кристаллизации, мицеллообразование.

UDC 547. 426.1- 126:547.03

**Physicochemical Properties of Solutions of Polyvinyl Alcohol (PVA) of Different Molecular Weights**

*Chekanova V. V., Pakhomova Yu. S., Kompaniets A. M., Kireev V. A., Hvozdiuk Ya. V.*

**Abstract.** The physicochemical properties (surface tension, dynamic viscosity, crystallization and melting temperatures) of polyvinyl alcohol solutions of molecular weight 9, 31 and 72 kDa have been studied. The surface tension and the critical concentration of micelle formation were determined by the method of stalagmometry, and the dynamic viscosity was determined using an Oswald viscometer. The crystallization and melting temperatures were determined in a cooled modified chamber of the UOP-6 software freezer at a rate of 2°С/min. Cryomicroscopic studies were carried out on a polarizing microscope «MIN-8».

The surface tension reflects the interaction of PVA solutions with the lipid layer of biomembranes and indicates the hydrophobic properties of substances. The viscosity of PVA solutions characterizes their interaction with water molecules and reflects hydrophilic interactions.

*The purpose of the study* is to determine the physicochemical properties of PVA that characterize the hydrophilic-hydrophobic interactions in the studied solutions and the micelle formation of PVA solutions of different molecular weights.

*Materials and methods.* Studies of the dynamic viscosity and density of 0.1%-1% PVA solutions of molecular weight 9, 31 kDa showed that these parameters increase with increasing PVA concentration, which leads to increased hydrophilicity of the solutions.

*Results and discussion.* It was shown that the surface tension of PVA solutions decreases with increasing concentration, which leads to a decrease in the hydrophobic properties of the polymer.

It was found that in 0.5% PVA solutions of molecular weight 9 and 31 kDa the crystallization and melting temperatures decrease from -5 to -6°C. At these temperatures, crystallization and melting of the solutions begin.

*Conclusion.* The study of micelle formation in PVA solutions of different molecular masses was carried out, surface tension isotherms were constructed, and the break point on the isotherm corresponding to the CCM was determined. The values of the critical concentration of micelle formation of PVA of molecular masses 9, 31, 72 kDa were determined. Hydrophobic links of PVA of molecular masses 9 and 31 kDa form hydrophobic cavities in the micelle structure, which can reduce recrystallization activity.

**Keywords:** surface tension, dynamic viscosity, polyvinyl alcohol, melting point, crystallization temperature, micelle formation.

*The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.*

Стаття надійшла 02.02.2021 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування