

УДК 544.012

**А.М. Елохов**

Институт технической химии УрО РАН, Пермь, Россия

**ФЕНОМЕН ТОЧКИ ПОМУТНЕНИЯ В РАСТВОРАХ НЕИОННЫХ  
ОКСИЭТИЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ  
И ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ  
(ОБЗОР)**

**I. ПРИРОДА ФЕНОМЕНА**

*Описана природа феномена точки помутнения в растворах оксиэтилированных поверхностно-активных веществ и водорастворимых полимеров. Представлены гипотезы, объясняющие растворимость подобных веществ в воде и причины расслоения их водных растворов с ростом температуры. Показана связь температуры точки помутнения и строения ПАВ.*

**Ключевые слова:** оксиэтилированные ПАВ; неионные ПАВ; температура точки помутнения; водорастворимые полимеры

**A.M. Elokhov**

Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

**CLOUD POINT PHENOMENON IN OXYETHYLATED NONIONIC  
SURFACTANTS AND WATER-SOLUBLE POLYMERS SOLUTIONS  
(REVIEW)**

**I. NATURE OF PHENOMENON**

*The nature of cloud point phenomenon in solutions of ethoxylated surfactants and water-soluble polymers was described. Hypotheses, explaining solubility of like substances in the water and causes their aqueous solutions separation by increasing temperature, was presented. Relation between cloud point temperature and surfactant structure was shown.*

**Keywords:** ethoxylated surfactants; nonionic surfactants; cloud point temperature; water-soluble polymers

### Введение

В последние годы поверхностно-активные вещества получили широкое применение в различных областях химии. Наиболее активно развивающимся направлением является использование ПАВ в анализе [1]. Известно, что ПАВ могут применяться с целью повышения чувствительности реакций комплексообразования органических реагентов с металлами в фотометрическом анализе и титриметрии [2, 3], как компоненты мембран ионоселективных электродов при потенциометрических измерениях [4] и как среды для разделения различных веществ в хроматографии [5, 6]. Однако наибольшее распространение получили методы экстракционного концентрирования и разделения различных по природе веществ с применением ПАВ в качестве экстрагентов. С начала 1970-х гг. развитие получил метод экстракции в точке помутнения (cloud point extraction), основанный на способности водных растворов оксиэтилированных ПАВ к обратимому расслаиванию при нагревании выше определенной температуры, называемой точкой помутнения [7–9]. В ряде случаев для снижения температуры образования второй жидкой фазы использовали введение неорганических солей или органических веществ. В середине 1980-х гг. появились работы, посвященные экстракции ионов металлов в системах на основе полиэтиленгликоля и других водорастворимых полимеров при комнатной температуре, при этом образование второй жидкой фазы, как правило, явля-

ется следствием введения высаливателя [10–12], что может быть интерпретировано как снижение температуры точки помутнения. В последнее десятилетие в качестве экстрагентов было предложено использовать технические поверхностно-активные вещества различных классов, при этом развитие получили методы экстракции как при комнатной [13–15], так и при более высокой температуре [16, 17].

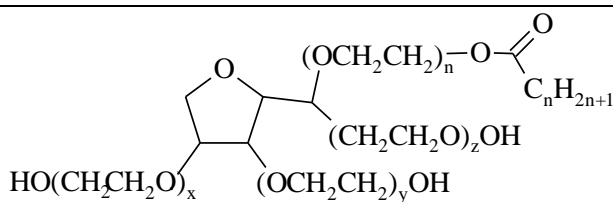
Большое разнообразие ПАВ и возможность варьирования их свойств в зависимости от строения создают перспективы дальнейшего расширения области использования ПАВ в химии. Целью настоящей работы является обзор публикаций, посвященных исследованиям природы эффекта точки помутнения и связи ее температуры со строением ПАВ.

К классу оксиэтилированных ПАВ (ОЭ-ПАВ) относятся вещества дифильного строения, содержащие гидрофобную часть (алкильный или арильный заместитель) и гидрофильную группу, представленную полимерным оксидом этилена и некоторыми другими группами. Близкими по строению к ОЭ-ПАВ являются некоторые водорастворимые полимеры, например полиэтиленгликоль (ПЭГ), блок-сополимеры этиленоксида с пропиленоксидом ( $E_nP_mE_n$ ) и обратные блок-сополимеры пропиленоксида с этиленоксидом ( $P_mE_nP_m$ ), поливинилпирролидон (ПВП) и др. Основные классы ОЭ-ПАВ представлены в табл.1.

Таблица 1

#### Основные классы оксиэтилированных ПАВ [18, 19]

Химическое название	Формула
Неионные ПАВ	
Оксиэтилированные алифатические спирты ( $C_nE_m$ )	$C_nH_{2n+1}O(C_2H_4O)_mH$
Оксиэтилированные алкилфенолы ( $C_nPhE_m$ )	$C_nH_{2n+1}(C_6H_4)O(C_2H_4O)_mH$
Оксиэтилированные амиды жирных кислот	$C_nH_{2n+1}C(O)NH(C_2H_4O)_mH$ $C_nH_{2n+1}C(O)N[(C_2H_4O)_mH]_2$
Сложные эфиры полиэтиленгликоля	$C_nH_{2n+1}C(O)O(C_2H_4O)_mH$

Химическое название	Формула
Оксиэтилированные сложные эфиры сорбитана (Tween)	
Анионные ПАВ	
Алкилэтоксисульфаты	$C_nH_{2n+1}O(C_2H_4O)_mSO_3M$
Алкилэтоксикарбоксилаты	$C_nH_{2n+1}O(C_2H_4O)_mCH_2COOM$
Алкилэтоксифосфаты	$C_nH_{2n+1}O(C_2H_4O)_mP(O)(OH)OM$ $[C_nH_{2n+1}O(C_2H_4O)_m]_2P(O)OM$
Катионные ПАВ	
Оксиэтилированные первичные амины	$C_nH_{2n+1}NH(C_2H_4O)_mH$

### Природа явления точки помутнения

Как правило, ОЭ-ПАВ хорошо растворимы в воде. Предложено три модели, обуславливающие растворимость подобных соединений в воде, на примере полиэтиленгликолей.

Конформационная теория связывает растворимость ПЭГ с конформацией С-С и С-О связей. Показано, что гош-конформации, устойчивые при низких температурах, соответствуют хорошей растворимости ПЭГ в воде, в то время как высокотемпературные транс-конформации соответствуют низкой растворимости ПЭГ [20].

Еще одна теория связывает растворимость ПЭГ с образованием водородных связей между молекулами воды и атомами кислорода оксиэтиленовых фрагментов [21].

Структурная теория объясняет растворимость близостью структур ПЭГ и воды. Межмолекулярное расстояние О...О в гексагональной структуре льда (0,274 нм) и ПЭГ (0,276 нм) практически одинаково. При этом образование структуры раствора может происходить путем замещения молекул воды атомами кислорода молекул ПЭГ [22].

Рассмотрим фазовую диаграмму двойной системы ОЭ-ПАВ – вода (рис.1,а). Выше определенной концентрации ОЭ-ПАВ в растворе существует мицеллярная изотропная фаза (I), увеличение концентрации ПАВ приводит к усложнению мицелл и образованию анизотропных структур – гексагональной (H) и ламеллярной (L) фаз. Нагревание изотропных растворов ПАВ выше определенной температуры приводит к расслаиванию (II), при этом образуются две жидкие фазы, одна из которых обогащена ОЭ-ПАВ, а другая представляет собой раствор ОЭ-ПАВ с концентрацией, близкой к критической концентрации мицеллообразования. Таким образом, системы ОЭ-ПАВ – вода можно рассматривать как системы с нижней критической точкой растворения (НКТР).

В ряде исследований показано, что ПЭГ и  $E_nP_mE_n$  также имеют точку помутнения. Методом термооптического анализа [23, 24] установлено, что системы ПЭГ – вода имеют замкнутую область расслаивания и характеризуются НКТР и ВКТР (верхней критической точкой растворения) (рис. 1,б).

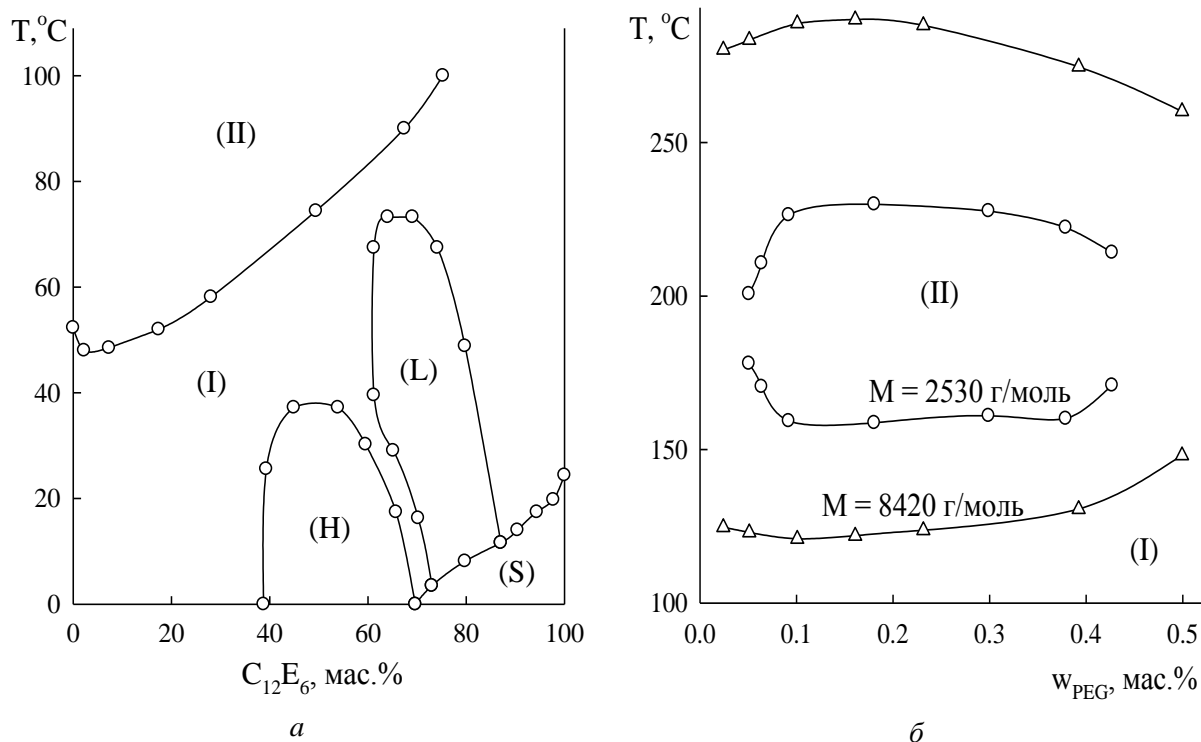


Рис. 1. Фазовая диаграмма системы  $C_{12}E_6 - H_2O$  [29] (а) и фрагмент диаграммы ПЭГ –  $H_2O$  [24](б)

Таким образом, феномен точки помутнения может быть следствием снижения растворимости ОЭ-ПАВ или полимера, вызванного ростом температуры. На сегодняшний день не существует единой теории, которая объясняет существование точки помутнения у водных растворов ОЭ-ПАВ. Предложены различные теории, основанные на экспериментальных данных и математическом моделировании поведения молекул и мицелл ОЭ-ПАВ при различных температурах.

В рамках конформационной теории точка помутнения интерпретируется сменой конформации оксиэтиленовых фрагментов с ростом температуры и снижением растворимости ОЭ-ПАВ в воде [20]. Предложена концепция, объясняющая наличие точки помутнения у блоксополимеров ( $E_nP_mE_n$ ). При низких температурах преобладает транс-гош-транс-конформация EO-фрагментов, причем один EO-фрагмент координирован водородными связями с двумя молекулами воды. При температуре, близкой к точке помутнения, наблюдается разрушение водородных связей и снижение стабильности транс-гош-транс-конформатов, что способствует образованию иных, более гидрофобных и энергетически

выгодных конформаций. Это приводит к ослаблению экранирования и стабилизации блока, образованного полипропиленгликолем, приводящему в дальнейшем к агрегации молекул и образованию собственной фазы ПАВ [26].

Структурная теория объясняет хорошую растворимость ОЭ-ПАВ в воде как следствие снижения энтальпии и энтропии системы за счет близкой структуры компонентов. Рост температуры приводит к увеличению энтропийного фактора, что уменьшает структурированность раствора и увеличивает роль гидрофобных взаимодействий. Следствием данного процесса является фазовое разделение. При дальнейшем увеличении температуры происходит полное разрушение структуры раствора и гомогенизация смеси, что является следствием увеличения растворимости, а точнее – появлением ВКТР [27].

В ряде теорий природа точки помутнения объясняется наличием различных типов взаимодействия ОЭ-ПАВ – вода или полимер – вода. Точка помутнения отвечает равновесию двух разнонаправленных процессов – гидратации оксиэтиленовых фрагментов молекулы ОЭ-ПАВ и Ван-дер-Ваальсовским взаимодействием гидро-

фобных фрагментов молекул. Увеличение длины алкильного радикала приводит к росту силы притяжения между мицеллами и снижению температуры помутнения. С ростом степени оксиэтилирования ОЭ-ПАВ возрастает и их гидратация, поэтому требуется более высокая температура для достижения состояния равновесия [28]. При высоких концентрациях и температурах, когда не могут существовать анизотропные фазы, важную роль играет взаимодействие оксиэтиленовых фрагментов разных молекул (ЕО/ЕО-взаимодействие). Увеличение степени оксиэтилирования ОЭ-ПАВ приводит к уменьшению среднего размера мицелл, увеличению степени ЕО/ЕО-взаимодействия [25] и прекращению роста мицелл вплоть до температуры помутнения [29]. При высоких температурах ЕО/ЕО-взаимодействия начинают доминировать над взаимодействиями гидрофобных фрагментов [30].

Данные светорассеяния, ЯМР-спектров, вискозиметрии и турбидиметрии водных растворов ОЭ-ПАВ позволили установить, что при приближении к температуре помутнения наблюдается увеличение среднего размера частиц [30, 31]. Рост может быть обусловлен образованием цилиндрических и дискообразных мицелл вместо сферических вблизи температуры помутнения [31]. Р. Lang с соавторами показали, что рост мицелл может происходить только при увеличении структурированности раствора и перехода от изотропных к анизотропным структурам либо при изменении температуры или состава раствора [32]. В работе [33] показано, что рост температуры уменьшает степень структурированности воды вблизи мицелл ОЭ-ПАВ, что приводит к увеличению сил Ван-дер-Ваальса между мицеллами. Таким образом, эффект точки помутнения может быть связан с кластеризацией сферических мицелл [36] путем их столкновения и частичного слияния [34], то есть увеличения степени флуктуации за счет межмицеллярного взаимодействия [35].

Развитие метода трансмиссионной электронной микроскопии привело к пересмотру теорий,

объясняющих появление точки помутнения. Установлено, что при температурах, близких к температуре помутнения, наблюдается образование разветвленной сети мицелл за счет гидрофобных взаимодействий и водородных связей [36]. Энергетические свойства концевых участков молекул и мест сочленений могут быть рассмотрены в теории изгиба [37]. При низких температурах кривизна поверхности велика, поэтому образуются преимущественно сферические и цилиндрические мицеллы, рост температуры приводит к уменьшению кривизны поверхности и увеличению склонности к разветвлению [38]. При этом эффект точки помутнения является результатом энтропийного разделения сильно разветвленных и слабо разветвленных цепей [39].

Таким образом, существование точки помутнения может быть объяснено протеканием следующих процессов [40]:

1. Конформационные и структурные изменения в оксиэтиленовом фрагменте ПАВ, приводящие к изменению его растворимости в воде.
2. Дегидратация мицелл с последующим их укрупнением и образованием более структурированных типов мицелл (цилиндрических, дискообразных).
3. Увеличение степени межмицеллярного гидрофобного взаимодействия вследствие усиления степени флуктуаций.
4. Образование разветвленной мицеллярной сети и сети водородных связей при температурах, близких к точке помутнения.

#### **Методы определения температуры точки помутнения**

Традиционно определение температуры помутнения водных растворов проводят визуальнополитермическим методом, который основан на визуальном фиксировании температуры фазового перехода раствор – двухфазная смесь [41]. При грамотном подборе скорости нагрева и охлаждения точность измерения температуры фазового перехода может достигать  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Широкое распространение получили инструментальные методы, основанные на измерении

светопропускания растворов вблизи температуры помутнения. Чаще всего используют

1. УФ-спектроскопию, при этом температуре помутнения отвечает резкое увеличение оптической плотности в видимой области спектра, точность метода  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  [42].

2. Турбидиметрию. При использовании данного метода фиксируют резкое падение светопропускания при достижении температуры помутнения [43].

3. Термооптический метод, основанный на регистрации зависимости интенсивности прошедшего через образец света от температуры [23]. Метод позволяет проводить определение как в режиме нагрева, так и охлаждения, требует малого количества образца ( $\sim 2$  мкл), при этом погрешность определения температуры не превышает  $0,1^\circ\text{C}$ .

Также применяют методы, основанные на измерении количества частиц в растворе, при этом точке помутнения отвечает резкое увеличение удельного количества частиц [44]. К примеру, рефрактометрический метод основан на фиксации скачка показателя преломления смеси при достижении температуры помутнения [45]. Кроме того, разработан метод сверхнизкой сдвиговой вискозиметрии, позволяющий фиксировать температуру помутнения с точностью до  $0,01^\circ\text{C}$  [46].

Для ПАВ, точка помутнения водных растворов которых выше  $100^\circ\text{C}$ , используют следующий метод: строят зависимость температуры помутнения растворов с постоянным содержанием ПАВ от концентрации введенного высаливателя. Как правило, используют высаливатели с незначительной высаливающей способностью (например, нитрат натрия), чтобы полученная зависимость имела линейный вид. Интерполируя прямую до пересечения с осью ординат, получают температуру помутнения раствора ПАВ без высаливателя [47].

### Связь строения ОЭ-ПАВ и точки помутнения

Ранее мы отметили, что наличие точки помутнения характерно для ОЭ-ПАВ и ПЭГ. Как следует из рис. 1, б, увеличение молекулярной массы полимера приводит к снижению температуры НКТР и повышению температуры ВКТР. Введение в молекулу ПЭГ гидрофобных групп пропиленоксида приводит к снижению температуры помутнения растворов сополимеров по сравнению с ПЭГ (табл. 2) [48].

Кроме того, большое количество исследований посвящено связи температуры помутнения со строением ОЭ-ПАВ. Например, для линейных алкилэтоксилатов получено эмпирическое соотношение, связывающее температуру помутнения растворов ( $T_{\text{п}}$ ), количество атомов углерода в радикале и число фрагментов оксида этилена [49]:

$$T_{\text{п}} = (87,1 \pm 3,3) \lg \#EO - (5,78 \pm 0,38) \#C - (40,7 \pm 5,2) \quad (R^2 = 0,943),$$

где  $\#EO$  – количество фрагментов оксида этилена в молекуле ПАВ,  $\#C$  – количество атомов углерода в алкильном радикале.

Приведенная закономерность оказалась малоэффективной для ПАВ с другими гидрофобными группами (разветвленные алкилэтоксилаты, оксиэтилированные алкилфенолы и циклоалканы). P.D.T. Huibers с соавторами предложил трехфакторную модель, описывающую влияние природы гидрофобной группы на температуру помутнения [50]:

$$T_{\text{п}} = (-264 \pm 17) + (86,1 \pm 3,0) \lg \#EO + (8,02 \pm 0,78)^3 k - (1284 \pm 86)^0 ABIC - (14,26 \pm 0,73)^1 SIC \quad R^2 = 0,937,$$

где  $^3k$  – индекс Кира, который увеличивается с ростом числа атома углерода и уменьшается при переходе от линейных к разветвленным и циклическим структурам;  $^1SIC$  – индекс, который зависит от количества разветвлений и циклических структур;  $^0ABIC$  – индекс, зависящий от числа типов атомов в гидрофобной части молекулы.

Точка помутнения некоторых оксиэтилированных ПАВ и водорастворимых полимеров

ПАВ	НКТП		ВКТП		Ссылка
	w, % мас.	T, °C	w, % мас.	T, °C	
C <sub>8</sub> PhE <sub>8</sub>	1	28,0	-	-	[55]
C <sub>8</sub> PhE <sub>9,5</sub>	3	64,5	-	-	
C <sub>8</sub> PhE <sub>35</sub>	1	116,0	-	-	[56]
C <sub>9</sub> PhE <sub>10</sub>	-	61,0	-	-	[57]
C <sub>9</sub> PhE <sub>15</sub>	-	101,1	-	-	
C <sub>9</sub> PhE <sub>20</sub>	-	115,0	-	-	
C <sub>10</sub> E <sub>4</sub>	0,05	22,0	-	-	[53]
C <sub>10</sub> E <sub>5</sub>	0,05	44,5	-	-	
C <sub>10</sub> E <sub>6</sub>	0,05	62,0	-	-	
C <sub>12</sub> E <sub>6</sub>	0,05	53,0	-	-	
C <sub>14</sub> E <sub>6</sub>	0,05	43,5	-	-	
ПЭГ (M = 3350)	0,15	155,5	0,15	246,4	[23]
ПЭГ (M = 8000)	0,10	124,6	0,10	282,5	
ПЭГ (M = 15000)	0,10	101,5	0,10	296,1	
E <sub>13</sub> P <sub>30</sub> E <sub>13</sub>	1,0	57,3	-	-	[58]
E <sub>25</sub> P <sub>30</sub> E <sub>25</sub>	1,0	80,0	-	-	[48]
E <sub>25</sub> P <sub>40</sub> E <sub>25</sub>	1,0	85,0	-	-	

Н. Schott предложил описывать зависимость температуры помутнения от степени оксиэтилирования (p) уравнением [51]

$$\frac{p - p^0}{T_{II}} = a + b(p - p^0),$$

где p<sup>0</sup> – число фрагментов оксида этилена в молекуле ЕО-ПАВ, имеющем T<sub>II</sub> = 0°C. Полученные зависимости для оксиэтилированных но-

нилфенолов и додеканолов представлены на рис. 2, а.

Как следует из представленных рисунков, зависимость температуры помутнения от количества атомов углерода гидрофобной части (n) или от степени оксиэтилирования (p) является нелинейной. Так, для ПАВ с p > 30 наблюдается замедление роста температуры помутнения.

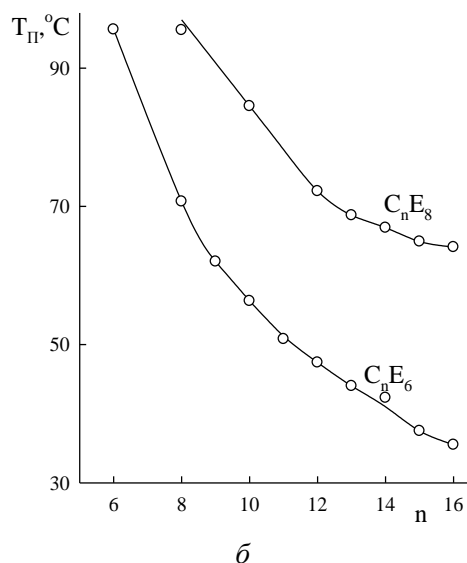
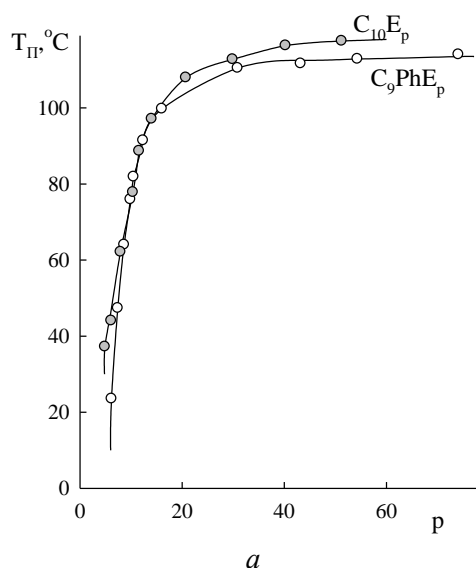


Рис. 2. Зависимость температуры помутнения от степени оксиэтилирования [52](а) и количества атомов углерода в алкильном радикале [53] (б)

В работе [54] с помощью QSPR-анализа установлена связь между температурой помутнения и рядом характеристик молекул ПАВ – энергией образования ( $\Delta H_f$ ), дипольным моментом ( $D_{total}$ ,  $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_z$ ), энергией высшей занятой орбитали ( $E_{HOMO}$ ), энергией молекулы ( $E_{total}$ ) и молекулярной плотностью ( $d$ ) на примере линейных алкилэтоксилатов и оксиэтилированных нонилфенолов. Эта зависимость может быть выражена уравнением

$$T_{II} = 588,847d - 0,009E_{total} - 13,992K_p + 3,464D_y + 2,15913D_z - 99,74E_{HOMO} - 1563,07.$$

### Заключение

Наличие точки помутнения является одной из многочисленных аномалий оксиэтилированных ПАВ. Во многом природа явления расслоения водных растворов ОЭ-ПАВ при нагревании определяется различными типами взаимодействий в системе ОЭ-ПАВ – вода и образующимися надмолекулярными структурами за счет различных типов связей, в том числе различными типами мицелл.

Описание связи строения ОЭ-ПАВ с температурой помутнения его водных растворов возможно лишь при учете многочисленных факторов, обуславливающих появление точки помутнения. Существующие на сегодняшний день зависимости применимы, как правило, для узкого круга соединений идентичной структуры.

Совершенствование методов физического и физико-химического анализа позволит, на наш взгляд, расширить представления о феномене точки помутнения, и возможно даже подвергнет существующие теории кардинальному пересмотру. Полагаем, развитие теоретических воззрений будет способствовать расширению типов ПАВ с возможностью целенаправленного синтеза ПАВ с заданными свойствами для конкретных областей применения.

### Библиографический список

1. *Штыков С.Н.* Поверхностно-активные вещества в анализе. Основные достижения и тенденции развития // Журнал аналитической химии. 2000. Т.55, № 7. С.679–686.
2. *Саввин С.В., Чернова Р.К., Штыков С.Н.* Поверхностно-активные вещества. М: Наука, 1991.
3. *Chromy V., Svoboda V.* Reactions of metallochromic indicators on micelles – II Application of xylenol orange to chelatometric titrations in an alkaline medium // Talanta. 1965. Vol.12. P.437–440.
4. *Mikhelson K. N.* Development of ion-selective electrodes in Russia in 1991–2010 // Journal of Analytical Chemistry. 2012. Vol. 67, №.1. P.1–5.
5. *Armstrong D. W., Fendler J. H.* Differential partitioning of tRNAs between micellar and aqueous phases: A convenient gel filtration method for separation of tRNAs // Biochimica et Biophysica Acta. 1977. Vol. 478, №. 1. P. 75–80.
6. *Штыков С.Н., Сумина Е.Г.* Аналитические возможности мицеллярных подвижных фаз в ТСХ 1,3-дикетонатов некоторых металлов // Журнал аналитической химии. 1998. Т. 53, № 5. С. 508–513.
7. *Watanabe H., Tanaka H.* A non-ionic surfactant as a new solvent for liquid-liquid extraction of zinc(II) with 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol // Talanta. 1978. Vol. 30. P. 585.
8. *Ojeda C.B., Rojas F.S.* Separation and preconcentration by a cloud point extraction procedure for determination of metals: an overview // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2009. Vol. 3941, № 3. P.759–782.
9. *Ojeda C.B., Rojas F.S.* Separation and preconcentration by a cloud point extraction procedure for determination of ions: recent trends and applications // Microchimica Acta. 2012. Vol. 177, № 1–2. P.121.
10. *Зварова Т.И., Шкинев В.М., Спиваков Б.Я., и др.* Жидкостная экстракция в системе водный раствор соли – водный раствор полиэтиленгликоля // Докл. АН СССР. 1983. Т. 273, № 1. С.107–110.
11. *Шкинев В.М., Мокишина Н.Я., Хохлов В.Ю., и др.* Экстракция биологически активных веществ в двухфазных водных системах на основе поли-N-винилпирролидона // Доклады РАН, Сер. Химическая. 2013. Т. 448, № 4. С. 427–429.
12. *Сафиулина А.М., Тананаев И.Г.* Экстракция U(VI) в двухфазных водных системах с применением полиэтиленгликоля в различных средах // Радиохимия. 2004. Т. 46, №5. С. 423–426.
13. *Леснов А.Е., Денисова С.А., Кудряшова О.С., и др.* Применение расслаивающихся систем вода – поверхностно-активное вещество – высаливатель для целей экстракции // Журнал прикладной химии. 2010. Т. 83, № 8. С.1379–1382.
14. *Леснов А.Е., Денисова С.А.* Гель-экстракция поверхностно-активными веществами // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2014. Вып. 1(13). С. 79–93.
15. *Леснов А.Е., Денисова С.А., Чухланцева Е.Ю., и др.* Гель-экстракция тиоцианатных комплексов



- сов металлов в расслаивающихся системах «вода – катамин АБ – хлорид калия» и «вода – оксифос Б – сульфат аммония» // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. Т. 23, № 4. С. 361–366.
16. Елохов А.М., Леснов А.Е., Кудряшова О.С. Высаливание бис(алкилполиоксиэтилен)фосфата калия солями аммония как основа разработки процессов мицеллярной экстракции // Журнал общей химии. 2015. Т. 85, № 11. С.1918–1923.
  17. Елохов А.М., Леснов А.Е., Кудряшова О.С. Возможность использования систем соль магния–моноалкилполиэтиленгликоль–вода в мицеллярной экстракции // Журнал неорганической химии. 2016. Т. 61, № 2. С. 256–262.
  18. Поверхностно-активные вещества и композиции: справочник / под. ред. Плетнева М.Ю. М.: ООО «Фирма Клавель», 2002. 715 с.
  19. Шенфельд Н. Поверхностно-активные вещества на основе оксида этилена. М.: Химия, 1982. 749 с.
  20. Karlström G. A New Model for Upper and Lower Critical Solution Temperatures in Poly(ethyleneoxide) Solutions // Journal of Physical Chemistry. 1985. Vol. 89. P. 4962–4964.
  21. Goldstein R.E. On the theory of lower critical solution points in hydrogenbonded mixtures // Journal of Physical Chemistry. 1984. Vol. 80. P. 5340–5341.
  22. Morini M.A., Messina P.V., Schulz P.C. The interaction of electrolytes with non-ionic surfactant micelles // Colloid and Polymer Science. 2005. Vol. 283. P. 1206–1218.
  23. Bae Y.C., Lambert S.M., Soane D.S., et al. Cloud-Point Curves of Polymer Solutions from Thermooptical Measurements // Macromolecules. 1991. Vol.24. P. 4403–4407.
  24. Saraiva A., Persson O., A. Fredenslund An experimental investigation of cloud-point curves for the poly(ethylene glycol) /water system at varying molecular weight distributions // Fluid Phase Equilibria. 1993. Vol. 91. P. 291–311.
  25. Mitchell D.J, Tiddy G.T., Aring L., et al., Phase Behaviour of Polyoxyethylene Surfactants with Water // Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases. 1983. Vol. 79. P. 975–1000.
  26. Wartewig S., Alig I., Hergeth W.-D., et al. Spectroscopic investigations on aqueous solution of poly(oxyethylene)-poly(oxypropylene)-poly(oxyethylene) triblock-copolymers // Journal of Molecular Structure. 1990. Vol. 219. P. 365–370.
  27. Jellanderan R., Florin D.E. Water Structure and Changes in Thermal Stability of the System Poly(et hylene oxide)-Water // Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases. 1981. Vol.77. P. 2053–2077.
  28. E.J. Staples, G.J.T. Tiddy Nuclear magnetic resonance technique to distinguish between micelle size changes and secondary aggregation in anionic and nonionic surfactant solutions// Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases. 1978. Vol. 74. P. 2530.
  29. Nilsson P.-G., Wennerström H., Lindman B. Structure of Micellar Solutions of Nonionic Surfactants. Nuclear Magnetic Resonance Self-Diffusion and Proton Relaxation Studies of Poly(ethyleneoxide) Alkyl Ethers // Journal of Physical Chemistry. 1983. Vol. 87. P. 1377–1385.
  30. Corti M., Minero C., Degiorgio V. Cloud Point Transition In Nonionic Micellar Solutions // Journal of Physical Chemistry. 1984. Vol.88. P.309–311.
  31. Nilsson P.-G., Lindman B. Nuclear Magnetic Resonance Self-Diffusion and Proton Relaxation Studies of Nonionic Surfactant Solutions. Aggregate Shape in Isotropic Solutions above the Clouding Temperature // Journal of Physical Chemistry. 1984. Vol. 88. P. 4764–4769.
  32. Lang P., Glatter O. Small-Angle X-ray Scattering from Aqueous Solutions of Tetra(oxyethylene)-n-octyl Ether // Langmuir. 1996. Vol.12. P. 1193–1198.
  33. Hayter J. B., Zulauf M. Attractive interactions in critical scattering from non-ionic micelles // Colloid & Polymer Science. 1982. Vol. 260. P. 1023–1028.
  34. Zana R., Weill C. Effect of temperature on the aggregation behaviour of nonionic surfactants in aqueous solutions // Journal de Physique Lettres. 1985. Vol. 46. P. 953–960.
  35. Trlolo R., Magd L.J., Johnson J.S., et al. Small-Angle Neutron Scattering from Aqueous Micellar Solutions of a Nonionic Surfactant as a Function of Temperature // Journal of Physical Chemistry. 1982. Vol. 86. P. 3689–3695.
  36. Bernheim-Groswasser A., Wachtel E., Talmon Y. Micellar Growth, Network Formation, and Criticality in Aqueous Solutions of the Nonionic Surfactant C<sub>12</sub>E<sub>5</sub> // Langmuir. 2000. Vol.16. P. 4131–4140.
  37. Safran S. A. Statistical Thermodynamics of Surfaces and Interfaces. Addison-Wesley: Reading, MA. 1994.
  38. Zilman A., Safran S. A., Sottmann T., et al. Temperature Dependence of the Thermodynamics and Kinetics of Micellar Solutions // Langmuir. 2004. Vol. 20. P. 2199–2207.

39. Zilman A., Tlusty T., Safran S.A. Entropic networks in colloidal, polymeric and amphiphilic systems // *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2003. Vol. 15. P. 57–64.
40. Mukherjee P., Padhan S.K., Dash S., et al. Clouding behaviour in surfactant systems // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2011. Vol. 162. P.59–79.
41. Chai J.-L., Mu J.-H. Effects of Various Additives on the Cloud Point of Dodecyl Polyoxyethylene Polyoxypropylene Ether // *Colloid Journal*. 2002. Vol. 64, №. 5. P. 550–555.
42. Batıgöç C., Akbaş H. Spectrophotometric determination of cloud point of Brij 35 nonionic surfactant // *Fluid Phase Equilibria*. 2011. Vol. 303. P. 91–95.
43. Schott H. Effect of Inorganic Additives on Solutions of Nonionic Surfactants. XIV. Effect of Chaotropic Anions on the Cloud Point of Octoxynol 9 (Triton X-100) // *Journal of Colloid And Interface Science*. 1997. Vol. 189. P. 117–122.
44. Imani A., Modarress H., Eliassi A. Cloud-point measurement for (sulphate salts + polyethylene glycol 15000 + water) systems by the particle counting method // *Journal of Chemical Thermodynamics*. 2009. Vol. 41. P. 893–896.
45. Mohsen-Nia M., Rasa H., Modarress H. Cloud-Point Measurements for (Water + Poly(ethylene glycol) +Salt) Ternary Mixtures by Refractometry Method // *Journal of Chemical & Engineering Data*. 2006. Vol. 51. P. 1316–1320.
46. Glatter O., Fritz G., Lindner H., et al. Nonionic Micelles near the Critical Point: Micellar Growth and Attractive Interaction // *Langmuir*. 2000. Vol. 16. P. 8692–8701.
47. Rocha S.A.N., Costa C.R., Celino J.J., et al. Effect of Additives on the Cloud Point of the Octylphenol Ethoxylate (30EO) Nonionic Surfactant // *Journal of Surfactants and Detergents*. 2013. Vol. 16. P. 299–303.
48. Desai M., Jain N. J., Sharma R., et al. Temperature and Salt-Induced Micellization of Some Block Copolymers in Aqueous Solution // *Journal of Surfactants and Detergents*. 2000. Vol. 3. P. 193–199.
49. Gu T., Sjöblom J. Surfactant structure and its relation to the Krafft point, cloud point and micellization: Some empirical relationships // *Colloids and Surfaces*. 1992. Vol. 64. P. 39.
50. Huibers P.D.T., Shah D.O., Katritzky A.R. Predicting Surfactant Cloud Point from Molecular Structure // *Journal of Colloid and Interface Science*. 1997. Vol. 193. P. 132–136.
51. Schott H. A linear relation between the cloud point and the number of oxyethylene units of water-soluble nonionic surfactants valid for the entire range of ethoxylation // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2003. Vol. 260. P. 219–224.
52. Schott H. Effect of inorganic additives on solutions of nonionic surfactants — XVI. Limiting cloud points of highly polyoxyethylated surfactants // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2001. Vol. 186. P. 129–136.
53. Inoue T., Ohmura H., Murata D. Cloud point temperature of polyoxyethylene-type nonionic surfactants and their mixtures // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2003. Vol.258. P. 374–382.
54. Yao H.-L., Shi Y.-Ch., Yuan Shi-L. Quantitative Structure-Property Relationship on Prediction of Cloud Point of Surfactants // *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2009. Vol. 30. P. 1223–1230.
55. Koshy L., Saiyad A.H., Rakshit A.K. The effects of various foreign substances on the cloud point of Triton X 100 and Triton X 114 // *Colloid & Polymer Science*. 1996. Vol. 274. P. 582–587.
56. Akbas H., Batıgöç C. Spectrometric studies on the cloud points of Triton X-405 // *Fluid Phase Equilibria*. 2009. Vol. 279. P. 115–119.
57. Arai H. The Relationship between the Cloud Points and the Properties of Micelles of Nonionic Detergents // *Journal of Colloid and Interface Science*. 1967. Vol. 93. P. 348–351.
58. Shaheen A., Kaur N., Mahajan R.K. Influence of various series of additives on the clouding behavior of aqueous solutions of triblock copolymers // *Colloid & Polymer Science*. 2008 Vol. 286. P. 319–325.

### References

1. Shtykov, S.N. (2000), "Surfactants in chemical analysis. Main achievements and development trends", *Journal of analytical chemistry*, Vol. 55, no. 7, pp. 679–686. (in Russ)
2. Savvin, S.V., Chernova, R.K. and Shtykov, S.N. (1991), "*Poverkhnostno-aktivnye veshhestva*" [Surfactants], Nauka, Moscow, Russia. (in Russ.)
3. Chromy, V. and Svoboda, V. (1965), "Reactions of metallochromic indicators on micelles – II Application of xylenol orange to chelatometric titrations in an alkaline medium", *Talanta*, Vol.12, pp.437–440.
4. Mikhelson, K. N. (2012), "Development of ion-selective electrodes in Russia in 1991–2010", *Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 67, no.1, pp.1–5.
5. Armstrong, D. W. and Fendler, J. H. (1977), "Differential partitioning of tRNAs between micellar and aqueous phases: A convenient gel filtration method for separation of tRNAs", *Bio-*

- chimica et Biophysica Acta, Vol. 478, no. 1, pp. 75–80.
6. Shtykov, S.N. and Sumina, E.G. (1998), "Analytical capabilities of micellar mobile phases in TLC 1,3-diketones of some metals", *Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 53, no 5, pp. 508–513. (in Russ.)
  7. Watanabe, H. and Tanaka, H. (1978), "A non-ionic surfactant as a new solvent for liquid-liquid extraction of zinc (II) with 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol", *Talanta*, Vol. 30, pp. 585.
  8. Ojeda, C.B. and Rojas, F.S. (2009), "Separation and preconcentration by a cloud point extraction procedure for determination of metals: an overview", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Vol. 3941, no. 3, pp.759–782.
  9. Ojeda, C.B. and Rojas, F.S. (2012), "Separation and preconcentration by a cloud point extraction procedure for determination of ions: recent trends and applications", *Microchimica Acta*, Vol. 177, no. 1–2, pp.121.
  10. Zvarova, T.I., Shkinev, V.M. and Spivakov, B.Ya. (1983), "Liquid extraction system in an aqueous salt solution - water-dissolved polyethylene glycol", *Doklady akademii nauk SSSR*, Vol. 273, no. 1, pp.107–110. (in Russ.)
  11. Shkinev, V.M., Mokshina, N.Ya and Khokhlov, V.Yu. (2013), "Extraction of the active compounds in two-phase aqueous systems based on poly-N-vinylpyrrolidone", *Doklady chemistry*, Vol. 448, no. 4, pp. 427–429.
  12. Safiullin, A.M. and Tananaev, I.G. (2004), "The extraction of U (VI) in aqueous two-phase systems using a polyethylene glycol in different media", *Radiochemistry*, Vol. 46, no.5, pp. 423–426. (in Russ.)
  13. Lesnov, A.E., Denisova, S.A. and Kudryashova O.S. (2010), "The use of stratified systems of water - surfactant - salting-out extraction purposes", *Journal of Applied Chemistry*, Vol. 83, no. 8, pp.1379–1382. (in Russ.)
  14. Lesnov, A.E. and Denisova, S.A. (2014), Gel Extraction by surfactants, *Bulletin of Perm State University, Series "Chemistry"*, no. 1(13), pp. 79–93. (in Russ.)
  15. Lesnov, A.E., Denisova, S.A. and Chukhlanceva E.Yu (2015), "Gel extraction of thiocyanate complexes of metals in stratified system "water - catamine AB - potassium chloride" and "water - oksifos B - ammonium sulfate", *Chemistry for Sustainable Development*, Vol. 23, no. 4, pp. 361–366. (in Russ.)
  16. Elokhov, A.M., Lesnov, A.E. and Kudryashova O.S. (2015), "Salting bis-(alkilpolioksietilen) potassium salts of ammonium phosphate as a basis for developing the micellar extraction processes", *Journal of General Chemistry*, Vol. 85, no. 11, pp.1918–1923. (in Russ.)
  17. Elokhov, A.M., Lesnov, A.E. and Kudryashova O.S. (2016), "The possibility of using a magnesium-salt systems manually glycol-water micellar extraction", *Journal of Inorganic Chemistry*, Vol. 61, no. 2, pp. 256–262. (in Russ.)
  18. Pletnev, M.Yu. (ed) (2002), *Poverkhnostno-aktivnye veshchestva I kompozicii* [Surfactants and compositions. Handbook], *ООО "Firma Klavel"*, Moscow, Russia. (in Russ.)
  19. Schenfeld, N. (1982), *Poverkhnostno-aktivnye veshchestva na osnove oksida ehtilena* [Surfactants based on ethylene oxide], *Khimiya*, Moscow, SU. (in Russ.)
  20. Karlström, G. (1985), "A New Model for Upper and Lower Critical Solution Temperatures in Poly(ethyleneoxide) Solutions", *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 89, pp. 4962–4964.
  21. Goldstein, R. E. (1984), "On the theory of lower critical solution points in hydrogen bonded mixtures", *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 80, pp. 5340–5341.
  22. Morini, M.A., Messina, P.V. and Schulz, P.C. (2005), "The interaction of electrolytes with non-ionic surfactant micelles", *Colloid and Polymer Science*, Vol. 283, pp. 1206–1218.
  23. Bae, Y.C., Lambert, S.M., Soane, D.S., et al. (1991), "Cloud-Point Curves of Polymer Solutions from Thermo-optical Measurements", *Macromolecules*, Vol.24, pp. 4403–4407.
  24. Saraiva, A., Persson, O. and Fredenslund, A (1993), "An experimental investigation of cloud-point curves for the poly(ethylene glycol)/water system at varying molecular weight distributions", *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 91, pp. 291–311.
  25. Mitchell, D.J, Tiddy, G.T., Aring, L., et al. (1983), "Phase Behaviour of Polyoxyethylene Surfactants with Water", *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases*, Vol. 79, pp. 975–1000.
  26. Wartewig, S., Alig, I., Hergeth, W.-D., et al. (1990), "Spectroscopic investigations on aqueous solution of poly(oxyethylene)-poly(oxypropylene)-poly(oxyethylene) triblock-copolymers", *Journal of Molecular Structure*, Vol. 219, pp. 365–370.
  27. Jellanderan, R. and Florin, D.E. (1981), "Water Structure and Changes in Thermal Stability of the System Poly (ethylene oxide)-Water", *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases*, Vol. 77, pp. 2053–2077.
  28. Staples, E.J. and Tiddy, G.J.T. (1978), "Nuclear magnetic resonance technique to distinguish be-

- tween micelle size changes and secondary aggregation in anionic and nonionic surfactant solutions”, *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases*, Vol. 74, p. 2530.
29. Nilsson, P.-G., Wennerström, H. and Lindman, B. (1983), “Structure of Micellar Solutions of Nonionic Surfactants. Nuclear Magnetic Resonance Self-Diffusion and Proton Relaxation Studies of Poly(ethyleneoxide) Alkyl Ethers”, *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 87, pp. 1377–1385.
  30. Corti, M., Minero, C. and Degiorgio, V. (1984), “Cloud Point Transition In Nonionic Micellar Solutions”, *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 88, pp. 309–311.
  31. Nilsson, P.-G. and Lindman, B. (1984), “Nuclear Magnetic Resonance Self-Diffusion and Proton Relaxation Studies of Nonionic Surfactant Solutions. Aggregate Shape in Isotropic Solutions above the Clouding Temperature”, *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 88, pp. 4764–4769.
  32. Lang, P. and Glatter, O. (1996), “Small-Angle X-ray Scattering from Aqueous Solutions of Tetra(oxyethylene)-n-octyl Ether”, *Langmuir*, Vol. 12, pp. 1193–1198.
  33. Hayter, J. B. and Zulauf, M. (1982), “Attractive interactions in critical scattering from non-ionic micelles”, *Colloid & Polymer Science*, Vol. 260, pp. 1023–1028.
  34. Zana, R. and Weill, C. (1985), “Effect of temperature on the aggregation behaviour of nonionic surfactants in aqueous solutions”, *Journal de Physique Lettres*, Vol. 46, pp. 953–960.
  35. Trilo, R., Magid, L.J., Johnson, J.S., et al. (1982), “Small-Angle Neutron Scattering from Aqueous Micellar Solutions of a Nonionic Surfactant as a Function of Temperature”, *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 86, pp. 3689–3695.
  36. Bernheim-Groswasser, A., Wachtel, E. and Talmon, Y. (2000), “Micellar Growth, Network Formation, and Criticality in Aqueous Solutions of the Nonionic Surfactant C<sub>12</sub>E<sub>5</sub>”, *Langmuir*, Vol. 16, pp. 4131–4140.
  37. Safran, S.A. (1994), “Statistical Thermodynamics of Surfaces and Interfaces”, Addison-Wesley: Reading, MA.
  38. Zilman, A., Safran, S.A., Sottmann, T., et al. (2004), “Temperature Dependence of the Thermodynamics and Kinetics of Micellar Solutions”, *Langmuir*, Vol. 20, pp. 2199–2207.
  39. Zilman, A., Tlustý, T. and Safran, S.A. (2003), “Entropic networks in colloidal, polymeric and amphiphilic systems”, *Journal of Physics: Condensed Matter*, Vol. 15, pp. 57–64.
  40. Mukherjee, P., Padhan, S.K., Dash, S., et al. (2011), “Clouding behaviour in surfactant systems”, *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 162, pp. 59–79.
  41. Chai, J.-L. and Mu, J.-H. (2002), “Effects of Various Additives on the Cloud Point of Dodecyl Polyoxyethylene Polyoxypropylene Ether”, *Colloid Journal*, Vol. 64, no. 5, pp. 550–555.
  42. Batıgöç, C. and Akbaş, H. (2011), “Spectrophotometric determination of cloud point of Brij 35 nonionic surfactant”, *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 303, pp. 91–95.
  43. Schott, H. (1997), “Effect of Inorganic Additives on Solutions of Nonionic Surfactants. XIV. Effect of Chaotropic Anions on the Cloud Point of Octoxynol 9 (Triton X-100)”, *Journal of Colloid And Interface Science*, Vol. 189, pp. 117–122.
  44. Imani, A., Modarress, H., and Eliassi, A. (2009), “Cloud-point measurement for (sulphate salts + polyethylene glycol 15000 + water) systems by the particle counting method”, *Journal of Chemical Thermodynamics*, Vol. 41, pp. 893–896.
  45. Mohsen-Nia, M., Rasa, H. and Modarress, H. (2006), “Cloud-Point Measurements for (Water + Poly(ethylene glycol) + Salt) Ternary Mixtures by Refractometry Method”, *Journal of Chemical & Engineering Data*, Vol. 51, pp. 1316–1320.
  46. Glatter, O., Fritz, G., Lindner, H., et al. (2000), “Nonionic Micelles near the Critical Point: Micellar Growth and Attractive Interaction”, *Langmuir*, Vol. 16, pp. 8692–8701.
  47. Rocha, S.A.N., Costa, C.R., Celino, J.J., et al. (2013), “Effect of Additives on the Cloud Point of the Octylphenol Ethoxylate (30EO) Nonionic Surfactant”, *Journal of Surfactants and Detergents*, Vol. 16, pp. 299–303.
  48. Desai, M., Jain, N. J., Sharma, R., et al. (2000), “Temperature and Salt-Induced Micellization of Some Block Copolymers in Aqueous Solution”, *Journal of Surfactants and Detergents*, Vol. 3, pp. 193–199.
  49. Gu, T. and Sjöblom, J. (1992), “Surfactant structure and its relation to the Krafft point, cloud point and micellization: Some empirical relationships”, *Colloids and Surfaces*, Vol. 64, pp. 39.
  50. Huibers, P.D.T., Shah, D.O. and Katritzky, A.R. (1997), “Predicting Surfactant Cloud Point from Molecular Structure”, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 193, pp. 132–136.
  51. Schott, H. (2003), “A linear relation between the cloud point and the number of oxyethylene units of water-soluble nonionic surfactants valid for the entire range of ethoxylation”, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 260, pp. 219–224.
  52. Schott, H. (2001), “Effect of inorganic additives on solutions of nonionic surfactants — XVI. Limiting cloud points of highly polyoxyethylated surfactants”, *Colloids and Surfaces A: Physico-*

- chemical and Engineering Aspects, Vol. 186, pp. 129–136.
53. Inoue, T., Ohmura, H. and Murata, D. (2003), “Cloud point temperature of polyoxyethylene-type nonionic surfactants and their mixtures”, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 258, pp. 374–382.
54. Yao, H.-L., Shi, Y.-Ch. and Yuan, Shi-L. (2009), “Quantitative Structure-Property Relationship on Prediction of Cloud Point of Surfactants”, *Journal of Dispersion Science and Technology*, Vol. 30, pp. 1223–1230.
55. Koshy, L., Saiyad, A.H. and Rakshit, A.K. (1996), “The effects of various foreign substances on the cloud point of Triton X 100 and Triton X 114”, *Colloid & Polymer Science*, Vol. 274, pp. 582–587.
56. Akbas, H. and Batıgöç, C. (2009), “Spectrometric studies on the cloud points of Triton X-405”, *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 279, pp. 115–119.
57. Arai, H. (1967), “The Relationship between the Cloud Points and the Properties of Micelles of Nonionic Detergents”, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 93, pp. 348–351.
58. Shaheen, A., Kaur, N. and Mahajan, R.K. (2008), “Influence of various series of additives on the clouding behavior of aqueous solutions of triblock copolymers”, *Colloid & Polymer Science*, Vol. 286, pp. 319–325.

Поступила в редакцию 02.03.2016

#### Об авторах

Елохов Александр Михайлович,  
аспирант  
ФГБУН «Институт технической химии уральского отделения российской академии наук»  
614013, г. Пермь, ул. Королёва, 3;  
elhalex@yandex.ru

#### About the authors

Elokhov Aleksandr Mikhailovich,  
graduate student  
Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
614013, 3, Koroleva st., Perm, Russia.  
elhalex@yandex.ru

#### Информация для цитирования

Елохов А.М. Феномен точки помутнения в растворах неионных оксиэтилированных поверхностно-активных веществ и водорастворимых полимеров (обзор). I. Природа феномена // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2016. Вып. 2(22). С. 79–91.

Elokhov A.M. *Fenomen tochki pomutneniya v rastvorakh neionnykh oksietilirovannykh pov-erkhnostno-aktivnykh veshchestv i vodorastvorimyykh polimerov (obzor). I. Priroda fenomena* [Cloud point phenomenon in oxyethylated nonionic surfactants and water-soluble polymers solutions (review). I. Nature of phenomenon] // *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» – Bulletin of Perm University. Chemistry*. 2016. № 2(22). P. 79–91 (in Russ.)