

УДК 544.252.4 + 544.016 + 544.18

*Н. В. Усольцева<sup>1</sup>, А. И. Смирнова<sup>1</sup>, Н. В. Жарникова<sup>1</sup>, М. С. Курбатова<sup>1</sup>, Н. И. Гиричева<sup>1</sup>, В. Г. Баделин<sup>2</sup>*

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ГЛИЦИНА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛИОМЕЗОФАЗЫ  
ВОДНЫМИ СИСТЕМАМИ ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ**

<sup>1</sup>Ивановский государственный университет,  
ул. Ермака, 39, 153025 Иваново, Россия. E-mail: nv\_usoltseva@mail.ru  
<sup>2</sup>Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН (ИХР РАН)  
ул. Академическая, д. 1, 153045 Иваново, Россия

*Установлено влияние аминокислоты глицина на мезоморфные свойства системы додецилсульфат натрия – глицин – вода, где додецилсульфат натрия использовался в качестве вещества, моделирующего жидкокристаллическую структуру биологической мембраны. Полученные методом квантово-химического моделирования данные об энергии взаимодействия додецилсульфата натрия с водой и глицином позволили теоретически обосновать сдвиг формирования гексагональной лиомезофазы в изучаемой тройной системе в сторону меньших концентраций этого поверхностно-активного вещества по сравнению с бинарной системой алкилсульфат натрия – вода. Поскольку формирование комплексов между сурфактантами и аминокислотами аналогично мицеллярной растворимости, то понимание таких процессов важно как в биологии, так и в различных областях потенциальных практических приложений поверхностно-активных веществ, таких как создание моющих средств, фармацевтика, солубилизация и доставка лекарств.*

**Ключевые слова:** додецилсульфат натрия, глицин, фазовая диаграмма, лиотропный мезоморфизм, квантово-химические расчеты.

**DOI:** 10.18083/LCAppl.2016.2.70

*N. V. Usol'tseva<sup>1</sup>, A. I. Smirnova<sup>1</sup>, N. V. Zharnikova<sup>1</sup>, M. S. Kurbatova<sup>1</sup>, N. I. Giricheva<sup>1</sup>, V. G. Badelin<sup>2</sup>*

**EFFECT OF GLYCINE ON LYOMESOPHASE FORMATION  
BY SODIUM DODECYLSULFATE – WATER SYSTEMS**

<sup>1</sup>Ivanovo State University,  
39 Ermak St., Ivanovo, 153025, Russia. E-mail: nv\_usoltseva@mail.ru  
<sup>2</sup>G. A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences,  
1 Academicheskaja St., Ivanovo, 153045, Russia

*The effect of amino acid (glycine) on mesomorphic properties of the sodium dodecyl sulfate – glycine – water system, wherein sodium dodecylsulphate was used as a material simulating liquid crystal structure of a biological membrane, was established. The data on the interaction energy of sodium dodecyl sulfate with water and glycine, obtained by quantum-chemical modeling, allowed to theoretically justify a shift in the formation of hexagonal lyomesophase to lower concentrations of the surfactant of the studied ternary system compared with the binary system of sodium alkylsulfate – water. Since the formation of complexes between surfactants and amino acids is similar to the micellar solubility, the understanding of such processes is important in biology and different areas of potential practical applications of surfactants, such as making detergents, pharmaceuticals, solubilization and drug delivery.*

**Key words:** sodium dodecylsulfate, glycine, phase diagram, lyotropic mesomorphism, quantum-chemical calculations.

## Введение

В последние годы большое внимание исследователей привлекают антимикробные пептиды [1]. В отличие от антимикробных пептидов, выделенных из биологических материалов и обладающих рядом существенных недостатков (слабая биова-риабельность и протеолитическая устойчивость, дороговизна, непредсказуемая токсичность), применение синтетических пептидных антибиотиков может способствовать их устранению. Ключевыми моментами действия аминокислот/пептидов на липополисахариды (ЛПС) является связывание их заряженных цвиттер-ионных групп с поверхностью внешней стороны мембраны бактериальной клетки и внедрение гидрофобных фрагментов аминокислот/пептидов в липидную часть мембраны [1]. Однако для направленного синтеза эффективных антимикробных пептидов необходимо исследование механизма их взаимодействия с соединениями, моделирующими биологические мембраны. Это предполагает проведение целого ряда экспериментальных и теоретических исследований на модельных соединениях, позволяющих выявить взаимосвязь между структурой аминокислотных остатков, входящих в состав антимикробных пептидов, и физико-химическими свойствами модельных мембран в процессе их взаимодействия.

Алкилсульфаты натрия в водных системах формируют лиотропные мезофазы, которые могут быть использованы как модели биологических мембран [2].

Аминокислоты являются важными органическими молекулами особого класса, которые в растворах существуют в виде цвиттер-ионов с большим электрическим моментом. Известно, что особенности строения аминокислот влияют на их взаимодействие с ионными сурфактантами, в частности, приводя к изменению критической концентрации мицеллообразования [1].

Имеющиеся в литературе данные по влиянию различных аминокислот и, в частности глицина, на фазовую диаграмму системы додецилсульфат натрия (DDSNa) – H<sub>2</sub>O касаются лишь предмицеллярных и мицеллярных областей. Исследований в более концентрированных областях, где формируются лиотропные мезофазы, нам не известно. В то же время, поскольку жидкокристаллические фазы поверхностно-активных веществ (ПАВ) являются моделями биологических мембран, мы поставили в настоящей работе задачу изучить влияние amino-

кислоты глицина (Gly) на лиомезоморфные свойства DDSNa.

Квантово-химические расчеты использованы для определения конформационных свойств, колебательных спектров и изучения взаимодействия между фрагментами молекул аминокислот/пептидов и модельного для мембран соединения – DDSNa. Предполагалось, что полученные результаты позволят оценить химическую и стерическую комплементарности взаимодействующих соединений.

Следует отметить, что формирование комплексов между сурфактантами и аминокислотами аналогично мицеллярной растворимости и понимание таких процессов важно как в биологии, так и в различных областях потенциальных практических приложений поверхностно-активных веществ, таких как создание моющих средств [2], фармацевтика [3], солубилизация и доставка лекарств [4, 5].

Таким образом, в представленном исследовании впервые поставлена задача установления влияния аминокислоты глицина на мезоморфные свойства системы додецилсульфат натрия – глицин – вода, где додецилсульфат натрия использовался в качестве вещества, моделирующего жидкокристаллическую биологическую мембрану.

## Эксперимент

Для приготовления бинарных и трехкомпонентных смесей использовали: додецилсульфат натрия (DDSNa), аминокислоту глицин (Gly) (рис. 1) производства *Sigma-Aldrich* и дважды перегнанную воду. DDSNa и аминокислота использовались без предварительной очистки. Бинарные смеси готовили смешением сухого DDSNa с соответствующим количеством воды (по массе). Массовые проценты использовали в связи с тем, что фазовые диаграммы DDSNa – H<sub>2</sub>O, известные из данных литературы [6–8], также упоминаются только в массовых процентах. Трехкомпонентные системы DDSNa – Gly – H<sub>2</sub>O получали следующим образом: сначала готовили насыщенный раствор глицина в бидистиллированной воде (растворимость глицина в воде – 25,3 г на 100 г H<sub>2</sub>O (при 25 °C) [9], затем сухой DDSNa смешивали с насыщенным раствором глицина. Полученные смеси гомогенизировали в течение нескольких дней при комнатной температуре, а также подвергали гомогенизации в ультразвуковой бане при температуре не выше 35 °C.

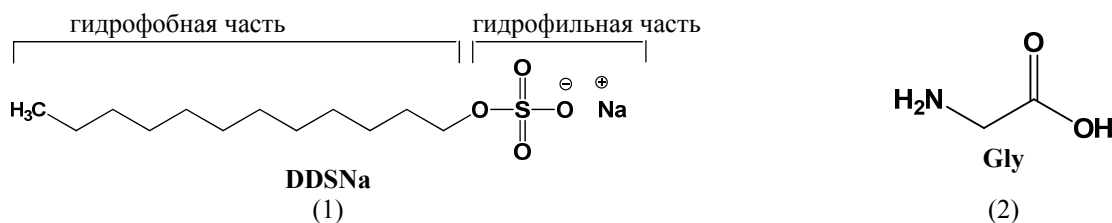


Рис. 1. Структурные формулы додецилсульфата натрия (1) и глицина (2)

Полученные двух- и трехкомпонентные системы (DDSNa – H<sub>2</sub>O и DDSNa – Gly-H<sub>2</sub>O, соответственно) исследовали методом оптической поляризационной микроскопии (микроскоп «Leitz LaborLux 12 Pol», оснащенный термосистемой фирмы «Mettler FP-82»). Микрофотографии текстур получали при помощи цифровой камеры-окуляра DCM800. Для предотвращения испарения воды и изучения температурной зависимости фазового состояния образцы запаивали между предметным и покровным стеклами при помощи двухкомпонентной эпоксидной смолы. Указанные методы являются оптимально информативными для изучения и построения диаграмм фазового состояния индивидуальных мезогенов и многокомпонентных систем [10, 11].

Квантово-химическое моделирование было выполнено методом DFT/B97D с использованием гибридного обменно-корреляционного функционала Гримма с дисперсионной поправкой в сочетании с базисным набором 6-311++G(2d,2p). Для моделирования процессов, происходящих на поверхности мембраны, на данном этапе исследования были рассмотрены комплексы додецилсульфата натрия с водой и глицином. Использование комплекса компьютерных методов позволило впервые получить наиболее полное представление о конформерах DDSNa, энергии его гетеролитической диссоциации, об особенностях строения и энергии образования комплексов додецилсульфата натрия с водой (DDSNa...H<sub>2</sub>O) и глицином (DDSNa...Gly).

### Результаты и их обсуждение

#### Лиотропный мезоморфизм системы DDSNa – Gly – H<sub>2</sub>O

По данным литературы, на фазовой диаграмме системы DDSNa – H<sub>2</sub>O (рис. 2) существуют две основные жидкокристаллические фазы

(гексагональная и ламеллярная), наблюдающиеся в широком концентрационном и температурном диапазоне [12, 13]. Кроме того, имеются промежуточные фазы с узкими областями существования. Гексагональная мезофаза – фаза с наибольшим содержанием воды сначала формируется и сосуществует с мицеллярным раствором в виде двухфазного района при концентрациях от 40 до 43 мас. % DDSNa при температуре 25 °С (рис. 2). При больших концентрациях DDSNa (от 44 до 60 мас. %) гексагональная фаза наблюдается в виде обширного однофазного района.

В качестве эталонов сравнения нами было приготовлено несколько бинарных систем DDSNa – H<sub>2</sub>O для определения концентрации, при которой начинает формироваться гексагональная фаза (рис. 2, врезка). Было установлено, что гексагональная фаза появляется при концентрации 37 мас. % DDSNa (в виде двухфазного района, сосуществующая с изотропной фазой), что хорошо коррелирует с литературными данными [12].

В ходе работы проанализировано влияние аминокислоты – глицина (Gly) на мезоморфное поведение псевдобинарных водных систем DDSNa. Показано, что добавка глицина приводит к сдвигу района формирования гексагональной мезофазы в область низких концентраций DDSNa (рис. 3).

Как указано выше, в бинарной системе DDSNa – H<sub>2</sub>O гексагональная мезофаза формируется, начиная с концентрации 37 мас. % DDSNa, где она сосуществует с изотропным мицеллярным раствором (рис. 2, врезка), т. е. на 1 моль DDSNa по расчетам приходится, по крайней мере, 27 моль воды.

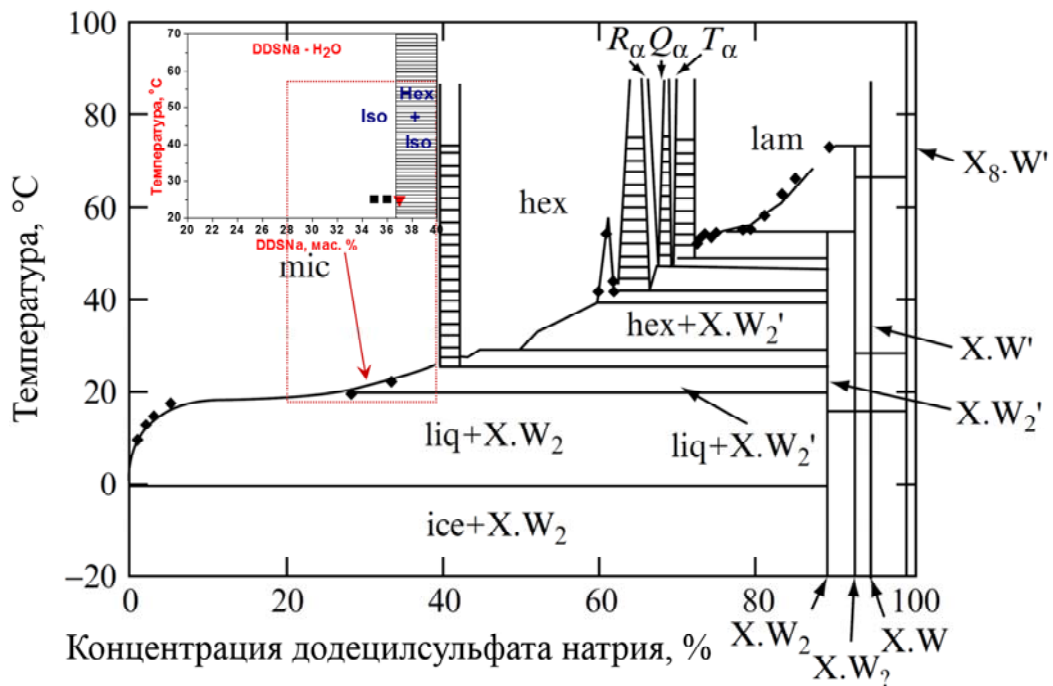


Рис. 2. Фазовая диаграмма системы DDSNa – H<sub>2</sub>O [12]:

пунктирной линией показан концентрационный район наших исследований (район перехода из изотропной мицеллярной фазы в двухфазный район сосуществования гексагональной, Hex, и изотропной, Iso, фаз). Во врезке показан фрагмент экспериментальной фазовой диаграммы DDSNa – H<sub>2</sub>O, область которой повторно исследована авторами статьи

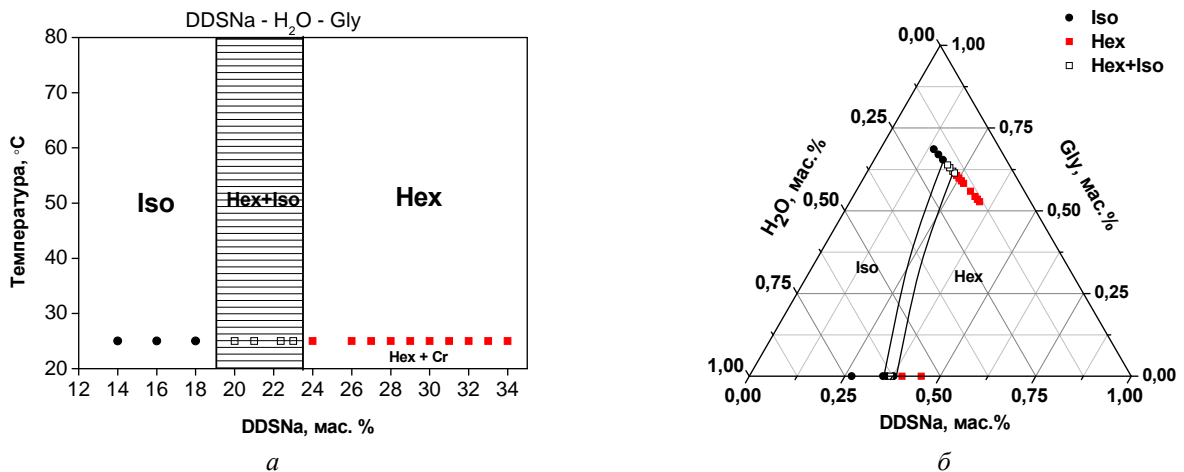


Рис. 3. Зависимость фазового состояния тройной системы от концентрации компонентов: а – фрагмент упрощенной псевдобинарной фазовой диаграммы DDSNa – насыщенный раствор Gly в воде; б – фазовая диаграмма трехкомпонентной системы DDSNa – Gly – H<sub>2</sub>O при 25 °С, где Hex – гексагональная фаза, Cr – кристаллогидраты DDSNa, Iso – изотропная фаза

В псевдобинарной системе, где вместо воды использовался насыщенный водный раствор глицина, мезофаза начинает формироваться при комнатной температуре. В интервале концентраций 20–23 мас. % DDSNa наблюдается двухфазный район (гексагональная мезофаза сосуществует с изотропной жидкостью) (рис. 3). Таким образом, в тройной системе DDSNa – Gly – H<sub>2</sub>O для формирования гексагональной фазы на 1 моль DDSNa

достаточно всего 13 моль воды. В виде однофазного района гексагональная фаза в трехкомпонентной системе наблюдается при концентрациях DDSNa, начиная от 24 мас. %. В исследованном концентрационном районе (от 20 до 37 мас. % DDSNa) и при температурах от 30 до 80 °С сохраняется текстура, характерная для гексагональной лиомезофазы (рис. 4).

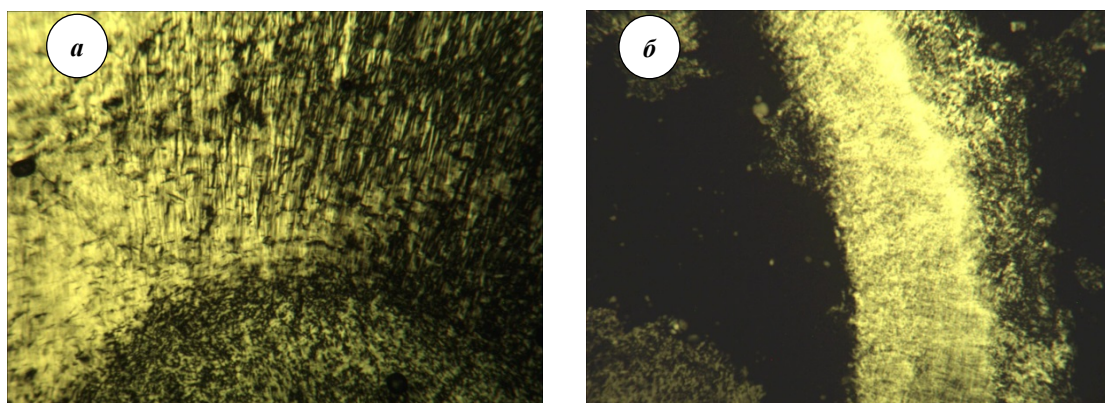


Рис. 4. Микрофотографии текстур системы DDSNa – Gly – H<sub>2</sub>O (20 мас. % DDSNa) :  
а – гексагональная фаза; б – двухфазный район Hex+Iso, T = 25 °С, поляризаторы скрещены, ×100

Таким образом, в проведенном исследовании впервые наблюдался сдвиг формирования гексагональной мезофазы в область более низких концентраций додецилсульфата натрия под действием насыщенного водного раствора аминокислоты глицина. Интересно отметить, что в работе [2] было показано, что в тройных системах, содержащих DDSNa – Gly – H<sub>2</sub>O, наблюдалось понижение значений критической концентрации мицеллообразования (ККМ) по сравнению с бинарной системой DDSNa – H<sub>2</sub>O.

#### **Квантово-химическое моделирование**

Для интерпретации влияния аминокислоты глицина в системе на уменьшение ККМ и концентрации формирования гексагональной фазы нами было выполнено квантово-химическое исследование строения конформеров молекулы DDSNa и комплексов додецилсульфата натрия с водой и глицином, а также определение энергии комплексообразования.

Как указано выше, DDSNa является моделью структурной единицы жидкокристаллической биологической мембраны, которая сочетает в пределах одной молекулы гидрофильные и гидрофобные фрагменты, а глицин – простейшим соединением с теми же функциональными группами, как и пептиды.

**Конформеры DDSNa.** Ион Na<sup>+</sup> может занимать различное положение относительно SO<sub>4</sub><sup>-</sup> группы в молекуле DDSNa. Для определения наиболее устойчивого конформера молекулы DDSNa рассчитана потенциальная функция внутреннего вращения фрагмента –SO<sub>3</sub>Na вокруг связи S–O(–R), где R – алкильный радикал – (CH<sub>2</sub>)<sub>11</sub>CH<sub>3</sub>, и установлено наличие двух конформеров молекулы. При этом конформации DDSNa, связанные с алкильным радикалом, не рассматривались. На рисунке 5 показана оптимизированная структура наиболее устойчивого I конформера DDSNa.

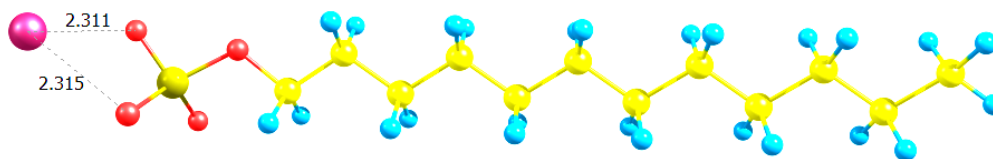


Рис. 5. Структура наиболее устойчивого конформера молекулы DDSNa

В обоих конформерах ион натрия координирован двумя атомами кислорода фрагмента  $\text{SO}_4$ , однако положение этого фрагмента относительно углеводородного радикала отличается, так же, как и расстояние  $\text{Na-O}$ .

По уравнению (1) была рассчитана энергия гетеролитической диссоциации DDSNa, которая составила 127,1 ккал/моль.

$$E_{\text{гетеро}} = E(\text{Na}^+) + E(\text{R-SO}_4^-) - E(\text{DDSNa}). \quad (1)$$

Большая величина  $E_{\text{гетеро}}$  указывает на высокое значение энергии взаимодействия иона  $\text{Na}^+$  с  $\text{R-SO}_4^-$ . Таким образом, появляются существенные затруднения при попытке заместить ион  $\text{Na}^+$  на какую-либо молекулярную или катионную форму.

*Строение глицина.* Безусловно, строение глицина известно и широко обсуждено в литературе. Однако для моделирования процессов взаимодействия глицина с DDSNa нам необходимо было выполнить геометрическую оптимизацию конформеров глицина выбранным методом DFT/B97D/6-311++G(2d,2p). Один из наиболее устойчивых конформеров молекулярной формы глицина изображен на рис. 6.

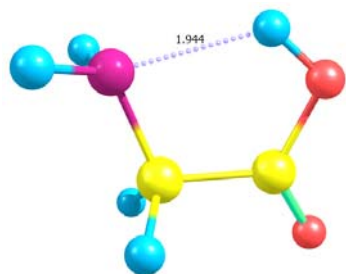


Рис. 6. Строение наиболее устойчивого конформера глицина (DFT/B97D/6-311++G(2d,2p))

Попытка оптимизировать структуру цвиттер-ионной формы приводила к переходу одного из атомов водорода от группы  $\text{NH}_3^+$  к группе  $\text{COO}^-$ .

*Строение и энергия образования комплексов додецилсульфата натрия с водой (DDSNa...H<sub>2</sub>O)*

На рисунке 7 показан комплекс, полученный из наиболее устойчивого конформера DDSNa и молекулы воды. В данном комплексе ион  $\text{Na}^+$  не вытесняется из области влияния группы  $\text{SO}_4^-$  молекулы DDSNa, а участвует во взаимодействии как с  $\text{R-SO}_4^-$ , так и с атомом кислорода молекулы воды. Однако расстояние между ионом  $\text{Na}^+$  и атомами кислородами, которые принадлежат  $\text{SO}_4^-$  группе, увеличивается в комплексе, что отражает ослабление связи  $\text{Na}^+$  с  $\text{R-SO}_4^-$ . Молекула воды образует межмолекулярную водородную связь с одним из атомов кислорода фрагмента  $\text{SO}_4^-$ . Все три структурные единицы ( $\text{R-SO}_4^-$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) оказываются взаимосвязанными в данном комплексе, а атом натрия тридентатно координирован к атомам кислорода, два из которых относятся к  $\text{R-SO}_4^-$ , а третий – к молекуле воды.

Энергия комплексообразования данной структуры составила 18,5 ккал/моль. Она была рассчитана как разность суммы полных энергий молекулы DDSNa и воды и энергии комплекса (2):

$$\Delta E = E(\text{DDSNa}) + E(\text{H}_2\text{O}) - E(\text{DDSNa...H}_2\text{O}). \quad (2)$$

На рисунке 8 показан комплекс, образованный другим конформером DDSNa и молекулой воды. Так же, как и в представленном ранее комплексе I, ион  $\text{Na}^+$  координируется тремя атомами кислорода, однако расстояние от  $\text{Na}^+$  до кислорода молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  и длина водородной связи между молекулой  $\text{H}_2\text{O}$  и фрагментом  $\text{R-SO}_4^-$  короче, чем в комплексе I. Это приводит к большей устойчивости комплекса II, энергия образования которого составила 20,2 ккал/моль.

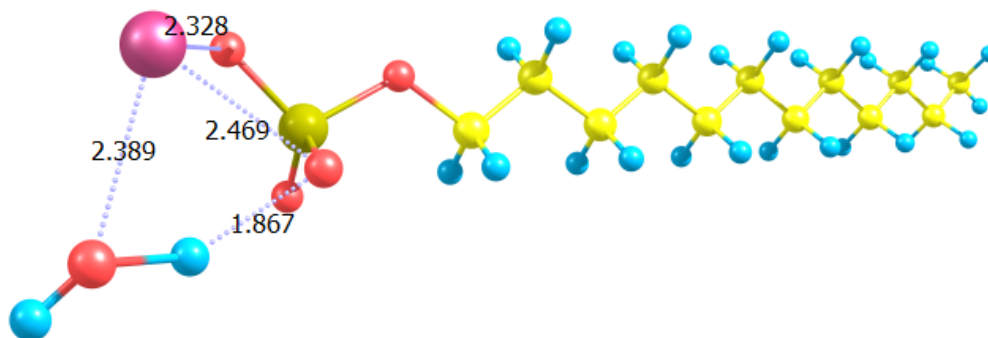


Рис. 7. Комплекс DDSNa...H<sub>2</sub>O, полученный из наиболее устойчивого конформера DDSNa (комплекс I)

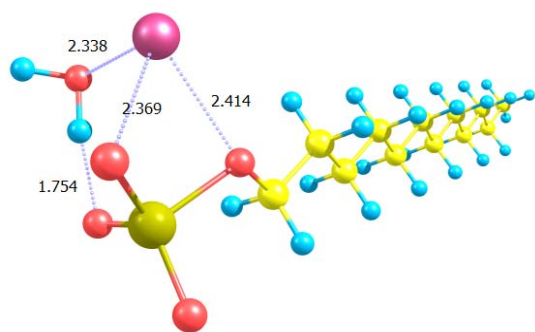


Рис. 8. Комплекс DDSNa...H<sub>2</sub>O, полученный из конформера II молекулы DDSNa и молекулы воды (комплекс II)

Следует отметить, что возможны другие варианты ориентации молекулы воды относительно гидрофильной группы DDSNa, однако попытки

образовать комплекс, в котором ион натрия был бы не связан с молекулой воды, не увенчались успехом, при оптимизации геометрии он приобретал строение либо комплекса I, либо II.

#### *Строение и энергия образования комплексов додецилсульфата натрия с глицином (DDSNa...Gly)*

При геометрической оптимизации комплекса DDSNa...Gly с участием молекулярной формы глицина получилась структура, изображенная на рис. 9, где ион Na<sup>+</sup> имеет тетраэдрическую координацию, при этом глицин образовал межмолекулярную водородную связь N–H...O и более прочную, чем в свободном состоянии, внутримолекулярную водородную связь O–H...N.

Энергия образования комплекса (I) DDSNa...Gly составила 28,3 ккал/моль.

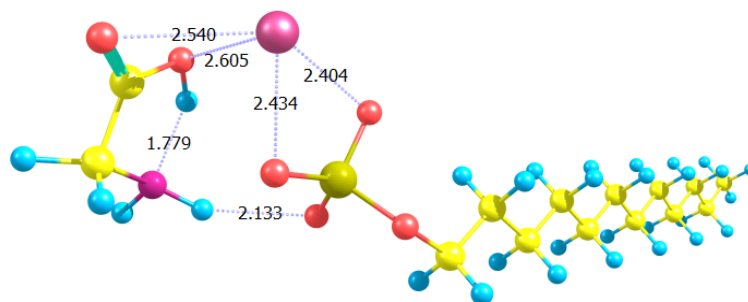


Рис. 9. Оптимизированная структура комплекса DDSNa...Gly (молекулярная форма) – комплекс I

Хотя цвиттер-ионная форма для изолированной молекулы глицина оказалась неустойчивой, однако в присутствии DDSNa она ста-

билизируется и создает с DDSNa более прочный комплекс (рис. 10), чем молекулярная форма.

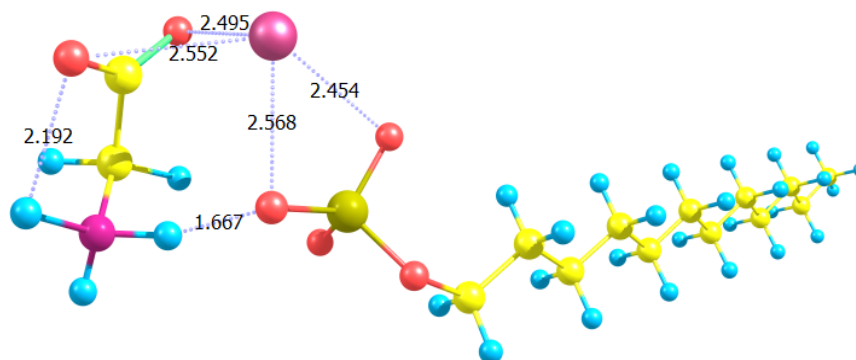


Рис. 10. Оптимизированная структура комплекса DDSNa...Gly (цвиттер-ионная форма) – комплекс II

При сравнении двух комплексов DDSNa...Gly видно, что ион  $\text{Na}^+$  в комплексе I (рис. 9) ближе расположен к  $\text{R-SO}_4^-$ , чем к атому кислорода молекулярной формы глицина, в то время как в комплексе II ион  $\text{Na}^+$  смещается к атому кислорода фрагмента  $\text{COO}^-$  глицина. Кроме того, в комплексе I межмолекулярная водородная связь значительно длиннее, чем в комплексе II, а внутримолекулярная водородная связь  $\text{O-H}\dots\text{N}$  в комплексе I (рис. 9) короче, чем внутримолекуляр-

ная водородная связь  $\text{N-H}\dots\text{O}$  в комплексе II (рис. 10).

Энергия образования комплекса II составила 48,3 ккал/моль, что существенно превышает энергию образования комплекса I.

*Сравнение устойчивости изученных комплексов*

Энергии образования четырех рассмотренных комплексов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Энергии образования комплексов DDSNa...H<sub>2</sub>O и DDSNa...Gly и геометрические характеристики межмолекулярных водородных связей

комплекс	$\Delta E$ , ккал/моль	$R(\text{O}\dots\text{H})$ , Å	$D\text{-H}\dots\text{O}$ , град*
DDSNa...H <sub>2</sub> O (I)	18,5	1,876	146,843
DDSNa...H <sub>2</sub> O (II)	20,2	1,754	166,162
DDSNa...Gly (I)	28,3	2,133	154,930
DDSNa...Gly (II)	48,3	1,667	162,928

\* D – донор водородной связи: для комплексов DDSNa...H<sub>2</sub>O D = O, а для комплексов DDSNa...Gly D = N.

Мы полагаем, что введение глицина приводит к преимущественному взаимодействию полярных групп алкилсульфата натрия с глицином, что и понижает как относительную концентрацию воды в системе, так и абсолютное количество растворителя (система глицин – вода), необходимое для формирования гексагональной фазы. Данное предположение основано на вышеприведенных результатах квантово-химических расчетов.

Поскольку аминокислота глицин обладает преимущественным связыванием с головной группой DDSNa, это можно рассматривать как увеличение размера гидрофильного фрагмента ПАВ в его условной молекулярной форме «обращенного конуса». Площадь поверхности на полярную группу в надмолекулярном агрегате при этом возрастает,

что должно привести к значительному увеличению кривизны поверхности мицеллы и, соответственно, к уменьшению ее радиуса и снижению ККМ [11]. В отношении DDSNa ранее было показано, что его сферические мицеллы переходят в цилиндрические, которые формируют гексагональную фазу. Влияние размера головной группы ПАВ было рассмотрено на примере децилтриалкилламмония бромистого и было показано, что при его увеличении ККМ уменьшается, равно как и уменьшаются числа агрегации. Эти закономерности справедливы также для сурфактантов  $\alpha$ ,  $\omega$ -типа [14]. Ранее нами было установлено, что при уменьшении ККМ у неионогенных ПАВ снижается также концентрация формирования гексагональной фазы [15].



Таким образом, как описанное ранее уменьшение ККМ, так и снижение концентрации формирования гексагональной фазы в тройных системах DDSNa – глицин – вода (по сравнению с бинарными системами DDSNa – вода) может объясняться как одним из ведущих факторов увеличением объема головной группы сурфактанта за счет преимущественного связывания с ней аминокислоты глицина с дальнейшим изменением кривизны поверхности мицеллярного агрегата – структурной единицы гексагональной фазы.

### Выводы

1. В системе додецилсульфат натрия – глицин – вода добавка глицина приводит к сдвигу района формирования гексагональной мезофазы в область более низких концентраций додецилсульфата натрия по сравнению с бинарной системой додецилсульфат натрия – H<sub>2</sub>O.
2. В трехкомпонентной системе додецилсульфат натрия – глицин – вода впервые установлена взаимосвязь между уменьшением значения критической концентрации мицеллообразования и понижением величины концентрации формирования гексагональной фазы.
3. Додецилсульфат натрия образует более прочные комплексы с глицином, чем с водой. Можно заключить, что при одновременном сосуществовании в системе DDSNa, H<sub>2</sub>O и Gly поверхность мицеллы как модели мембраны будет более склонна к адсорбции глицина, чем воды, что приводит к уменьшению радиуса кривизны как глобулярной, так и цилиндрической мицеллы – структурной единицы гексагональной мезофазы.
4. В свободном состоянии цвиттер-ионная форма глицина менее энергетически выгодна, чем молекулярная. Однако взаимодействие молекулярной формы глицина с DDSNa приводит к менее устойчивому комплексу DDSNa...Gly, в отличие от взаимодействия DDSNa с цвиттер-ионной формой аминокислоты. Таким образом, цвиттер-ионная форма глицина стабилизируется молекулой DDSNa.
5. Во всех комплексах, по сравнению с молекулой DDSNa, ион Na<sup>+</sup> менее прочно связан с R–SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, о чем свидетельствует увеличение расстояния Na–O в комплексах, т. е. молекула воды и особенно молекула глицина способствуют

диссоциации молекулы DDSNa и диффузии иона Na<sup>+</sup> в водно-органическую среду.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-43-03003 р\_центр\_а) и частично в рамках выполнения госзадания Минобрнауки РФ (НИР № 4.106.2014К).*

### Список литературы / References

1. Giuliani A., Rinaldi A.C. *Antimicrobial Peptides: Methods and Protocols*. New York: Humana Press, 2010, 424 p. DOI: 10.1007/978-1-60761-594-1.
2. Chauhan M.S., Chauhan R.S., Rana D.S., Umar A. Effect of temperature on micellar properties of sodium dodecyl sulfate in aqueous solutions of some amino acids (Glycine, Alanine, Valine and Leucine). *Adv. Sci. Lett.*, 2012, 7, 43–51. DOI: 10.1166/asl.2012.3317.
3. Goddard E.D., Ananthapadmanabhan K.P. Application of Polymer – Surfactant Systems. In *Polymer – Surfactant Systems; Surfactant Science Series*. Ed by J.C.T. Kwak. Marcel Dekker, NY, 1998, 77, 21.
4. Rangel-Yagui C.O., Pessoa-Jr A., and Tavares L.C. Micellar solubilization of drugs. *J. Pharm. Pharmaceut. Sci.*, 2005, 8 (2), 147–163.
5. Allen T.M., Hansen C.B., and de Menenez D.E.I. Pharmacokinetics of long-circulating liposomes. *Adv. Drug Delv. Rev.*, 1995, 16 (2–3), 267–284. DOI: 10.1016/0169-409X(95)00029-7.
6. Burducea G. Lyotropic liquid crystals. I. Specific structures. *Romanian Reports in Physics*, 2004, 56 (1), 66–86.
7. Burducea G. Lyotropic liquid crystals. II. Structural polymorphism lyotropic liquid crystals. *Romanian Reports in Physics*, 2004, 56 (1), 87–100.
8. Kékicheff P., Grabielle-Madelmont C., Ollivon M. Phase Diagram of Sodium Dodecyl Sulfate-Water System: 1. A Calorimetric Study. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1989, 131 (1), 112–132. DOI: 10.1016/0021-9797(89)90151-3.
9. Рабинович В. А., Хавин З. Я. Краткий химический справочник : справочное издание / под ред. А. А. Потехина, А. И. Ефимова. Л. : Химия, 1991. 432 с. [Rabinovich V.A., Havin Z.Ya. Brief chemical reference: Reference book. Leningrad : Chemistry, 1991, 432 p. (in Russ.)].
10. Dierking I. *Textures of Liquid Crystals*. Darmstadt: Wiley-VCH Verlag, GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2003, 213 p. DOI: 10.1002/3527602054.
11. Усольцева Н. В. Жидкие кристаллы: лиотропный мезоморфизм : учебное пособие. Иваново : Иван. гос. ун-т, 2011, 316 с. [Usol'tseva N.V. Liquid crystals: lyotropic mesomorphism. Ivanovo : IvSU, 2011, 316 p. (in Russ.)].

- 
- 
12. Holmberg K., Jönsson B., Kronberg b. and Lindman B. Surfactants and Polymers in Aqueous Solution. John Wiley & Sons, Ltd, 2002, 562 p. **DOI:** 10.1002/0470856424.
  13. Чернова Р. К., Шестопалова Н. Б., Волкова Е. В. Влияние некоторых факторов на фазовое разделение в системе додецилсульфат натрия – H<sub>2</sub>O // *Известия Саратовского ун-та. Новая сер.* 2013. Т. 13, вып. 1. С. 21–25. [Chernova R.K., Shestopalova N.B., Volkova E.V. Influence of Some Factors on Phase Separation of System Sodium Dodecyl Sulfate – H<sub>2</sub>O. *Proceedings of Saratov University. New Ser.*, 2013, **13** (1), 21–25 (in Russ.)].
  14. Yasuda M., Ikeda K., Esumi K., Meguro K. Effect of Head Group Size on Aqueous Properties of  $\alpha,\omega$ -Type Surfactant. *Langmuir*, 1990, **6** (5), 949–953. **DOI:** 10.1021/la00095a011.
  15. Усольцева Н. В. Лиотропные жидкие кристаллы: химическая и надмолекулярная структура. Иваново : Иван. гос. ун-т, 1994. 220 с. [Usol'tseva N.V. Lyotropic liquid crystals: chemical and supramolecular structure. Ivanovo : IvSU, 1994, 220 p. (in Russ.)].

Поступила в редакцию 13.05.2016 г.  
Received 13 May 2016