

## ОБРАЗОВАНИЕ НАНОФАЗЫ ОСНОВНОГО АЦЕТАТА МЕДИ И ЕЕ СТАБИЛИЗАЦИЯ В ВОДНЫХ МИЦЕЛЛЯРНЫХ РАСТВОРАХ ПАВ

Л.С. Агеева, Н.А. Борщ, Н.В. Кувардин, А.П. Кузьменко

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

При взаимодействии ацетата меди с гидрокарбонатом натрия в воде и водных мицеллярных растворах ПАВ наблюдается образование нанофазы основного ацетата меди. Методами светодинамического рассеяния, малоугловой рентгеновской дифракции и спектрофотометрии показано, что в этих случаях образуются наночастицы основного ацетата меди со сложной картиной распределения по размерам в интервале до 60 нм. Проведение реакции в водных мицеллярных растворах ПАВ приводит к седиментационной устойчивости нанофазы, зависящей от концентрации и природы ПАВ. Определена расчетная пороговая и экспериментальная начальная концентрация ацетата меди при взаимодействии с гидрокарбонатом натрия в воде и водных мицеллярных растворах ПАВ, при которых образуется нанофаза основного ацетата меди. Сформулированы условия получения наноразмерной устойчивой суспензии основного ацетата меди, которая может служить основой лечебной противоожоговой и ранозаживляющей композиции.

**Ключевые слова:** основной ацетат меди, нанофаза, мицеллярные растворы ПАВ, противоожоговая и ранозаживляющая композиция.

Наночастицы меди и ее соединений обладают высоким потенциалом для применения в качестве антимикробных агентов, так как медь, как химический элемент, широко распространена в природе, участвует в метаболических процессах внутри живых организмов, имеет низкую себестоимость и экологически безопасна [1, 2]. Они проявляют бактериостатическое и бактерицидное действия, обладают ранозаживляющим действием, ускоряют процессы восстановления кровеносных сосудов, поврежденных участков кожи, заменяют серебро и композиты других благородных металлов при разработке антибактериальных средств.

Так, результаты исследования антимикробных свойств наночастиц оксида меди (I и II) показали высокую антимикробную активность по отношению к различным штаммам бактерий. С одной стороны, они обладают слабой токсичностью, с другой – проявляют высокий антимикробный эффект по отношению к клеткам микроорганизмов, что способствует использованию их в составе

ранозаживляющих препаратов и лечебных средств: бактерицидных пластырей, мыла, повязок, аэрозолей и т.д. [1].

Среди таких средств особое место занимает лекарственное средство на основе основного ацетата меди, обладающее ранозаживляющим действием при лечении ожогов, отморожений, рожистых воспалений, предложенное П.И. Федорищевым в 1984 году в качестве средства народной медицины [3, 4], получившее дальнейшее развитие в виде патентов РФ [5-8]. При этом основной ацетат меди входит в состав лечебных композиций в форме макрофазы твердого вещества, которое получают при растворении перетертой в твердом состоянии смеси моногидрата ацетата меди и гидрокарбоната натрия в мольном соотношении 1:1.54 в ограниченном объеме воды [4]:



Авторами впервые проведено детальное исследование состава образующихся по этой методике продуктов реакции, выделен и идентифицирован основной продукт  $\text{CuOHCH}_3\text{COO}$  определением молекулярной массы и данным ИК Фурье спектроскопии. Ими же предложено многократно повысить эффективность воздействия лечебных композиций за счет образования нанофазы основного ацетата меди при взаимодействии разбавленных водных растворов ацетата меди и гидрокарбоната натрия в мицеллярных растворах ПАВ [8-13]. В настоящей статье эти исследования продолжены в части определения пороговых концентраций и условий стабилизации нанофазы основного ацетата меди в зависимости от природы ПАВ.

### **Материалы и методы**

Использовали  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NaHCO}_3$  ч.д.а.; додецилсульфат натрия  $\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$  (ДСН), цетилпиридиний хлорид 1-водный  $\text{C}_{21}\text{H}_{38}\text{ClN} \cdot \text{H}_2\text{O}$  (ЦПХ), олеат натрия  $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{CONa}$  (ОлНа), цетилтриметиламмоний-N-бромид  $\text{C}_{19}\text{H}_{42}\text{BrN}$  (ЦТАБ) фирмы «Acros Organics». Дистиллированную воду получали на двухкаскадном лабораторном дистилляторе (3 мкСм/см).

Для определения концентрации реагентов, при которых образуется нанофаза, готовили исходные растворы  $1 \cdot 10^{-2}$  и  $1.2 \cdot 10^{-2}$  М растворением, соответственно, 0.218 г  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и 0.1008 г  $\text{NaHCO}_3$  в 100 мл дистиллированной воды. В случае ПАВ вместо воды использовали 100 мл мицеллярного раствора соответствующего ПАВ необходимой концентрации.

Для определения пороговой концентрации высаживания основного ацетата меди без ПАВ смешивали два равных объема разбавленных исходных растворов так, чтобы конечная концентрация реагентов в растворе составила ( $\text{C} \cdot 10^{-4}$ , моль/л):

$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  0.5 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

NaHCO <sub>3</sub>	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8	12
--------------------	-----	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	------	----

Аналогично и в случае ПАВ, только исходные растворы реагентов и раствор для разбавления уже содержали ПАВ в концентрации чуть больше ККМ: ЦПХ, ЦТАБ и *ОлНа* –  $2 \cdot 10^{-3}$ , ДСН –  $9 \cdot 10^{-3}$  М.

Cu(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	1	2	3	5	7	8.5	10
NaHCO <sub>3</sub>	1.2	2.4	3.6	6	8.4	10.2	12

Таким образом, реакция образования основного ацетата меди протекала в мицеллярном растворе.

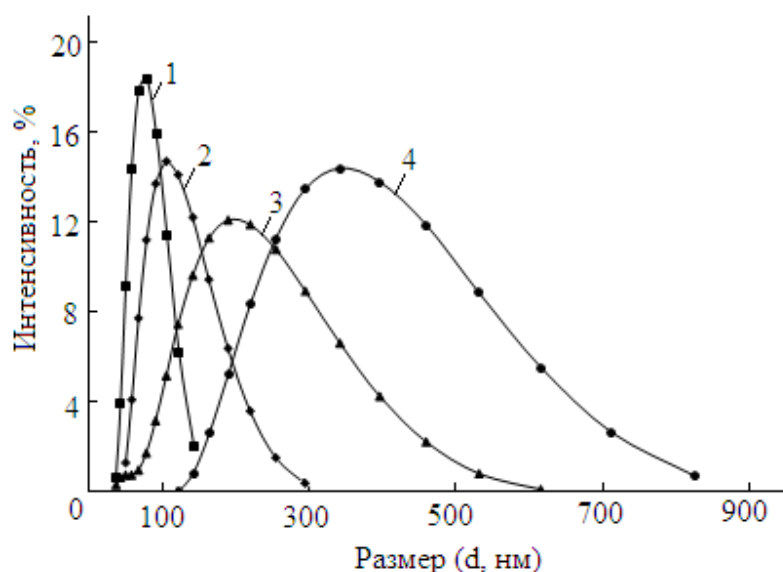
Электронные спектры и оптическую плотность при выбранной длине волны определяли на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu). Гидродинамический диаметр наночастиц, составляющих нанофазу основного ацетата меди в растворах, определяли на приборе Zetasizer Nano ZS. Метод является бесконтактным, не вносит возмущения в исследуемую среду, не требует градуировки с использованием стандартных образцов. Малоугловое рентгеновское рассеяние исследуемых растворов проводили на дифрактометре SAXSessmc<sup>2</sup> (Anton Paar, Австрия).

#### Результаты и их обсуждение

При добавлении к  $1 \cdot 10^{-2}$  М водному раствору ацетата меди равного объема  $1.2 \cdot 10^{-2}$  М водного раствора гидрокарбоната натрия образуется нанофаза основного ацетата меди, которую можно стабилизировать, если проводить реакцию в мицеллярном водном растворе. Это следует из определения гидродинамического диаметра наночастиц по данным светодинамического рассеяния и малоугловой рентгеновской дифракции (рис. 1, 2) [12].

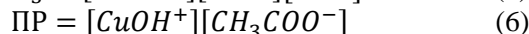
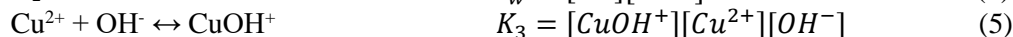
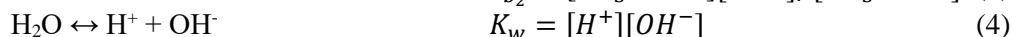
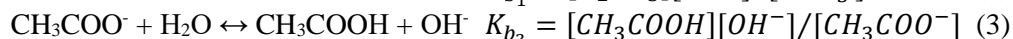
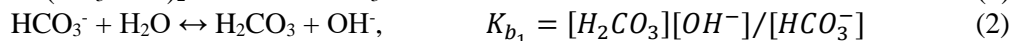
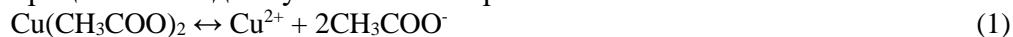
Гидродинамический диаметр частиц в максимуме определяется природой ПАВ и кратно больше значений, определяемых по данным SAXS, так как каждая частица обростаёт «облаком» агрегированных ПАВ. В мицеллярном растворе катионоактивного ЦПХ гидродинамический диаметр наночастиц наименьший из всех исследованных растворов, включая раствор без ПАВ. Принимая во внимание химическую природу ПАВ (отсутствие активных донорно-акцепторных групп) в мицеллярных растворах и реагентов, образующих при взаимодействии нанофазу основного ацетата меди, протеканием побочных химических реакций с участием ПАВ можно пренебречь. Это подтверждается, в частности, исследованием пленок, образующихся при высыхании микрокапли наносuspension на кремниевой подложке. Так, в рамановском спектре пленки, приготовленной из нанофазы в мицеллярном растворе ПАВ, присутствует весь набор полос, наблюдаемый в спектрах пленок, приготовленных из suspension основного ацетата в отсутствие ПАВ, с одной стороны, и

приготовленных только из мицеллярных растворов ПАВ без соединений меди – с другой [12].

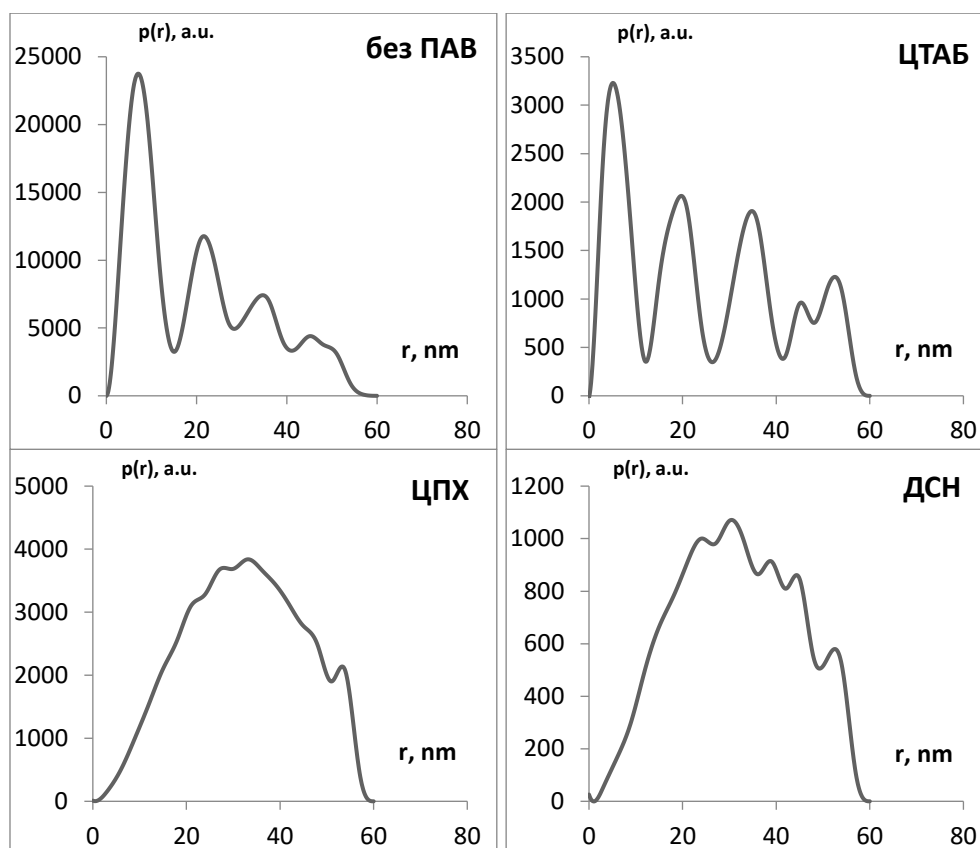


Р и с . 1. Распределение гидродинамического диаметра (d, нм в максимуме) нано- и микрочастиц основного ацетата меди по размерам ( $C = 5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ ) в водном и водном мицеллярном растворе:  
1 – ЦПХ (64.5); 2 – без ПАВ (120); 3 – ОлНа (211); 4 – ДСН (554)

Основной ацетат меди – малорастворимое в воде соединение. В отсутствие ПАВ пороговую концентрацию образования нанофазы ( $C_n$ , M) можно оценить теоретически из рассмотрения равновесных процессов в воде с участием всех реагентов:



По литературным данным  $\text{ПР} = (1.5-13.4) \cdot 10^{-9}$  [13];  $K_{a_1} = 4.45 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_{a_2} = 1.74 \cdot 10^{-5}$  [14],  $K_{b_1} = [K_w][K_{a_1}]$ ,  $K_{b_2} = [K_w][K_{a_2}]$ ;  $K_3 = 5.16 \cdot 10^6$ , как среднее из значений констант устойчивости для моногидроксикомплекса меди  $1 \cdot 10^6$  [15],  $4.47 \cdot 10^6$  [16],  $1 \cdot 10^7$  [14].



Р и с . 2. Распределение наночастиц основного ацетата меди по размеру в водном и водных мицеллярных растворах ПАВ по результатам рентгеновской малоугловой дифрактометрии (SAXS,  $C = 5 \cdot 10^{-3}$  М)

В момент начала образования нанофазы  $C_{\text{п}} = [Cu^{2+}] + [CuOH^+]$ ,  $[CuOH^+] = PR/[CH_3COO^-]$ ,  $[CH_3COO^-] = 2C_{\text{п}}$ ,  $C_{HCO_3^-} = 1.2C_{\text{п}}$ . Откуда  $[CuOH^+] = PR/2C_{\text{п}}$ .

Из уравнения 2, 3 и 5 следует:  $[Cu^{2+}] = PR/2K_3C_{\text{п}}[OH^-]$ ;

$$[OH^-] \approx \sqrt{1.2C_nK_w/K_{a1}} + \sqrt{2C_nK_w/K_{a2}} \approx \sqrt{1.2C_nK_w/K_{a1}} (1 + 1.3\sqrt{K_{a1}/K_{a2}}) \approx 1.16\sqrt{1.2C_nK_w/K_{a1}} \approx 1.87 \cdot 10^{-4}\sqrt{C_{\text{п}}}$$

$$[Cu^{2+}] \approx PR/2K_3C_{\text{п}} \cdot 1.87 \cdot 10^{-4}\sqrt{C_{\text{п}}} \approx PR/3.74 \cdot 5.16 \cdot 10^6 \cdot 10^{-4}C_{\text{п}}\sqrt{C_{\text{п}}} \approx PR/1.93 \cdot 10^3 C_{\text{п}}\sqrt{C_{\text{п}}}$$

$$C_{\text{п}} \approx PR/1.93 \cdot 10^3 \sqrt{C_{\text{п}}} + PR/2$$

После преобразования получим:  $C_{\text{п}}^2 \approx PR/1.93 \cdot 10^3 \sqrt{C_{\text{п}}} + PR/2$ .  
Подставляя граничные значения PR, можно оценить пределы пороговой концентрации образования нанофазы основного ацетата меди при взаимодействии ацетата меди и гидрокарбоната натрия при мольном соотношении 1:1.2 в водном растворе в отсутствии ПАВ:

$$(C_{\text{II}}^{\text{min}})^2 \approx 1.5 \cdot 10^{-9} / 1.93 \cdot 10^3 \sqrt{C_{\text{II}}} + 1.5 \cdot 10^{-9} / 2 = 0.78 \cdot 10^{-12} \sqrt{C_{\text{II}}} + 0.75 \cdot 10^{-9} \quad (7)$$

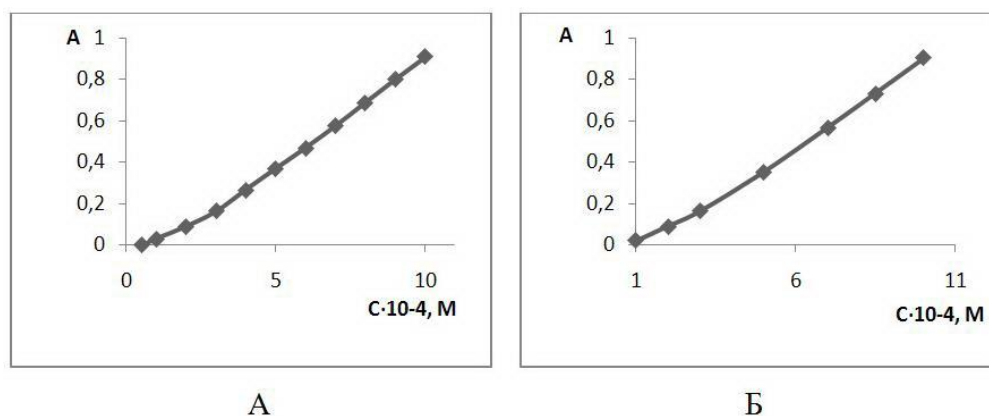
$$(C_{\text{II}}^{\text{max}})^2 \approx 13.4 \cdot 10^{-9} / 1.93 \cdot 10^3 \sqrt{C_{\text{II}}} + 13.4 \cdot 10^{-9} / 2 = 6.94 \cdot 10^{-12} \sqrt{C_{\text{II}}} + 6.7 \cdot 10^{-9} \quad (8)$$

Заменой переменных уравнения 7 и 8 можно привести к уравнениям 5-степени, которые имеют один действительный положительный корень. После преобразования  $C_{\text{II}}^{\text{min}} = 3 \cdot 10^{-5}$  (7),  $C_{\text{II}}^{\text{max}} = 9 \cdot 10^{-5}$  (8).

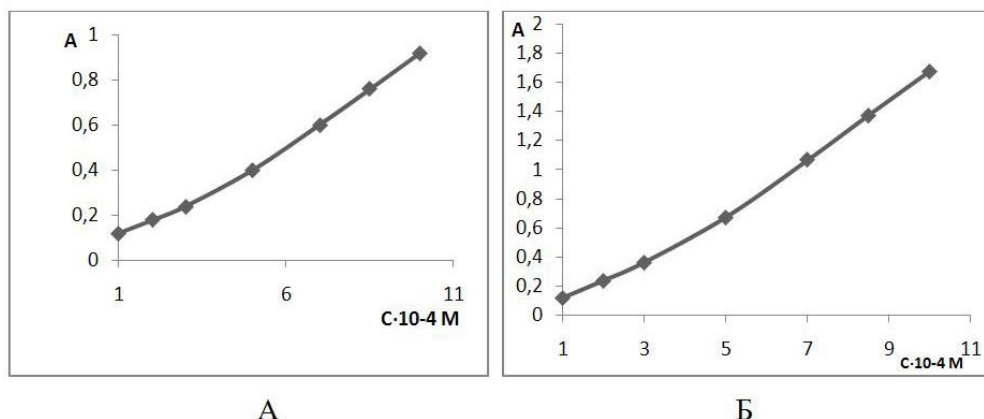
Таким образом, по расчетным данным пороговая концентрация ацетата меди для образования нанофазы основного ацетата меди в водном растворе в отсутствие ПАВ находится в пределах:  $C_{\text{II}} = (3-9) \cdot 10^{-5}$  М.

С практической точки зрения важно знание пороговой концентрации ацетата меди, когда нанофаза образуется в количестве, достаточном для ее обнаружения с помощью оптической спектрофотометрии.

С этой целью проведено экспериментальное определение пороговой концентрации ацетата меди при ее взаимодействии с гидрокарбонатом натрия в водном и мицеллярном растворе ПАВ. Изучены электронные спектры и выбрана оптимальная длина волны для фотометрирования исследуемых растворов в области 190-400 нм в зависимости от концентрации основного ацетата меди. Полагали, что образование нанофазы основного ацетата меди будет сопровождаться изломом на графике  $A = f(C)$ , где  $A$  – оптическая плотность;  $C$  – молярная концентрация ацетата меди (II) – одного из взаимодействующих реагентов. На рис. 3-4 в качестве примера приведены графики такой зависимости ( $\lambda = 277$  нм).

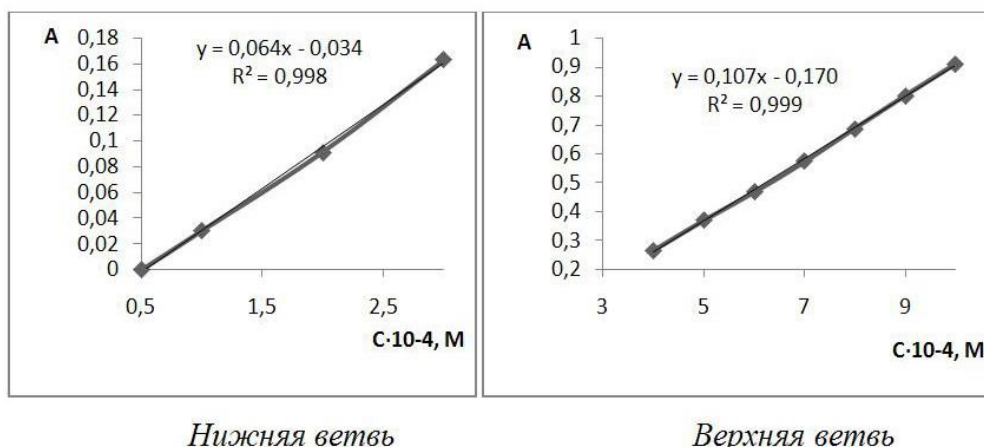


Р и с . 3. Оптическая плотность водного раствора продуктов взаимодействия ацетата меди с гидрокарбонатом натрия в зависимости от концентрации ацетата меди: А – в отсутствие ПАВ, Б – в присутствии  $2 \cdot 10^{-3}$  М ЦТАБ;  $C_{\text{Na}} = 1.2 C_{\text{Cu}}$ ,  $\lambda = 277$  нм



Р и с . 4. Оптическая плотность водного раствора продуктов взаимодействия ацетата меди с гидрокарбонатом натрия в зависимости от концентрации ацетата меди: А – в присутствии  $2 \cdot 10^{-3}$  М ЦПХ, Б – в присутствии  $9 \cdot 10^{-3}$  М ДСН;  $C_{Na} = 1.2C_{Cu}$ ,  $\lambda = 277$  нм

В первом приближении начальную концентрацию ацетата меди, находили как точку перелома из комбинации уравнений линейной регрессии для каждой отдельной ветви общей зависимости  $A = f(C)$ :  $0.107x - 0.17 = 0.064x - 0.034$ ,  $x = 3.2 \cdot 10^{-4}$  М в случае образования нанофазы в водном растворе без ПАВ (рис. 5).



Р и с . 5. Зависимость оптической плотности раствора продуктов реакции от концентрации ацетата меди до и после точки перелома (без ПАВ)

Аналогично при образовании нанофазы основного ацетата меди в растворах ПАВ:  $0.06x + 0.006 = 0.104 - 0.123x = 2.9 \cdot 10^{-4}$  М в случае ЦПХ;  $0.109x - 0.198 = 0.071x - 0.052x = 3.84 \cdot 10^{-4}$  М в случае ЦТАБ;  $0.2x - 0.33 = 0.122x - 0.003x = 3.7 \cdot 10^{-4}$  М в случае ДСН.

Таким образом, независимо от условий проведения реакции, в присутствии или без ПАВ, пороговая концентрация ацетата меди для идентификации нанофазы основного ацетата меди методом спектрофотометрии лежит в пределах  $(3-4) \cdot 10^{-4}$  М. Присутствие ПАВ

приводит к седиментационной устойчивости нанофазы основного ацетата меди, которая в свою очередь, зависит от природы и концентрации ПАВ. На рис. 6, 7 приведены результаты определения устойчивости нанофазы основного ацетата меди ( $St, \%$ ) в зависимости от длительности хранения суспензии, полученной в присутствии ЦПХ с разной концентрацией. Снижение оптической плотности суспензии (% от первоначальной) свидетельствует о частичной агрегации наночастиц с последующим высаживанием в виде макрофазы основного ацетата меди. В отсутствие ПАВ оптическая плотность суспензии снижается вдвое уже за двое суток, а для полного высаживания нанофазы достаточно недели (рис. 6 (1)). С ростом концентрации ЦПХ устойчивость суспензии повышается и достигает максимума вблизи ККМ (рис. 6, 7).

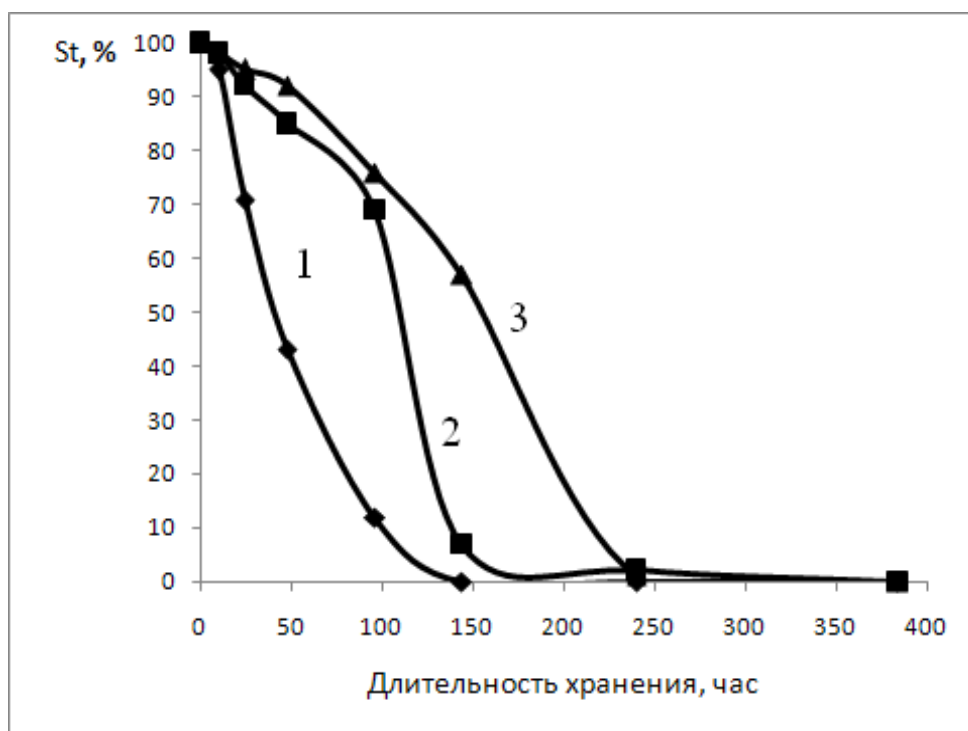
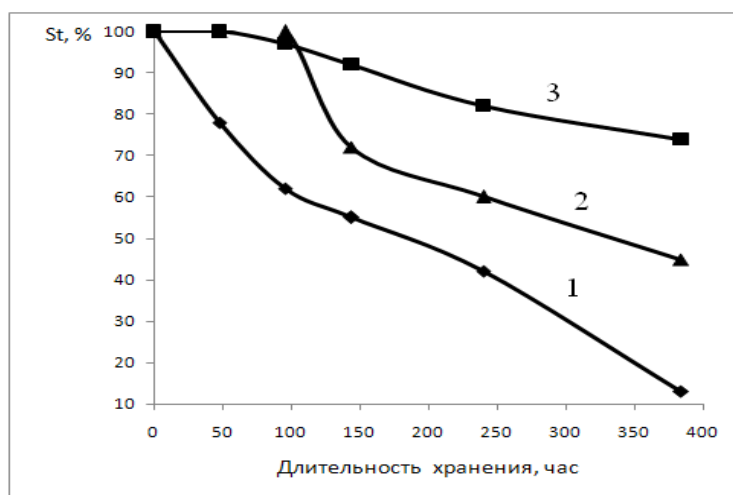


Рис. 6. Устойчивость нанофазы основного ацетата меди в воде (1) и в мицеллярном растворе ЦПХ ( $C_{\text{ЦПХ}} \cdot 10^{-3} \text{ М}$ : 2 – 0.2, 3 – 0.3) в зависимости от длительности хранения суспензии:  $St, \% = 100 \cdot A_t / A_{\text{нач}}$ ,  $\lambda = 400 \text{ нм}$ ,  $C_{\text{CuOAc}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ М}$





Р и с . 7 . Устойчивость нанофазы основного ацетата меди в мицеллярном растворе ЦПХ ( $C_{\text{ЦПХ}} \cdot 10^{-3} \text{ M}$ : 1 – 0.5, 2 – 1.2, 3 – 0.9) в зависимости от длительности хранения суспензии:  $St, \% = 100 \cdot A_t / A_{\text{нач}}$ ,  $\lambda = 400 \text{ нм}$ ;  $C_{\text{CuOHAc}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$



Р и с . 8 . Устойчивость нанофазы основного ацетата меди в зависимости от длительности хранения суспензии: 1 – в отсутствии ПАВ, 2 – ЦТАБ, 3 – ЦПХ;  $St, \% = 100 \cdot A_t / A_{\text{нач}}$ ,  $\lambda = 400 \text{ нм}$ ,  $C_{\text{ПАВ}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ M}$  (ККМ),  $C_{\text{CuOHAc}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$

Следовательно, образование и последующая стабилизация нанофазы основного ацетата меди обусловлена не только адсорбцией ПАВ на поверхности наночастиц, препятствующей их агрегации, но и мицеллообразованием ПАВ и, по-видимому, другими сложными процессами физико-химического взаимодействия, которые потребуют дополнительных исследований. Наблюдаемое явление согласуется с ранее полученными результатами по синтезу наночастиц ферритов

кобальта и никеля в прямых мицеллах ДСН [17, 18, 19].

Интересно то, что стабилизация нанофазы основного ацетата меди зависит также и от природы ПАВ (рис. 8).

Так, в присутствии «жесткого» катиона ЦТАБ даже при ККМ стабилизация нанофазы основного ацетата меди мало отличается от таковой в сравнении с водной суспензией в отсутствии ПАВ. Напротив, в присутствии «мягкого» (ароматического) катиона ЦПХ падение оптической плотности суспензии при хранении в течение 10 суток не превышает 20%. Можно предположить, что столь резкое отличие находит отражение и в результатах исследования нанофазы основного ацетата меди по данным SAXS (рис. 2). Сложная, состоящая из пяти максимумов, картина распределения наночастиц по размеру в отсутствии ПАВ и в мицеллярном растворе ЦТАБ практически идентичны, тогда как в мицеллярном растворе ЦПХ она смазана, возможно, за счет большей степени экранирования.

Из результатов настоящего и ранее проведенных исследований [9-13] авторов следует, что для получения стабильной нанофазы основного ацетата меди, которая может быть использована в качестве основы лечебной противоожоговой и ранозаживляющей композиции, реакцию взаимодействия ацетата меди с гидрокарбонатом натрия необходимо проводить в мицеллярном растворе ПАВ с концентрацией близкой к ККМ. Из исследованных ПАВ более предпочтительным представляется ЦПХ. Оптимальный концентрационный интервал ацетата меди составляет  $(1-5) \cdot 10^{-3}$  М, молярный избыток гидрокарбоната натрия – 20%.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации № 0851-2020-0035.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гульченко С.И., Бусев А.А., Захарова О.В. // Вестник Тамбовского ун-та. Сер.: естеств. и техн. науки. 2014. Т. 19. № 5. С. 1397.
2. Андрусишина И.Н., Голуб И.А., Дидикин Г.Г., Литвин С.Е. и др. // Биотехнология. 2011. Т.4. № 6. С. 51.
3. Сагайдачный Ю.Г. // Природа и человек. 1989. № 11. С. 26.
4. Кононова А.П. Пат. РФ № 2072844 // Заявл. 03.02.1993. Оpubл. 0.02.1997.
5. Алехин А.Ю., Ковкин В.А., Шамраев О.Д. и др. Пат. РФ № 2106150 // Заявл. 02.03.1994. Оpubл. 10.03.1998.
6. Алехин А.Ю., Анашкин А.П., Марченко А.В. и др. Пат. РФ № 99111281/14 // Заявл. 28.05.1999. Оpubл. 27.08.2000.
7. Пат. РФ № 2132193 / Общество с ограниченной ответственностью "СТТС" // Заявл. 16.04.1998.
8. Борщ Н.А., Кузьменко А.П., Агеева Л.С. Пат. РФ № 2635505 // Заявл. 29.11.2016. Оpubл. 13.11.2017.
9. Давиденко А.А., Фалалеева В.Н., Борщ Н.А. // Изв. Юго-Запад. гос. ун-та. Сер.: техн. и технол. 2016. Т. 21. № 4. С. 198.

10. Борщ Н.А., Агеева Л.С., Давиденко А.А. и др. // Изв. Юго-Запад. гос. ун-та. Сер.: техн. и технол. 2017. Т. 7. № 4(25). С. 173.
11. Борщ Н.А. // Изв. Юго-Запад. гос. ун-та. Сер.: техн. и технол. 2004. № 1 (12). С. 103.
12. Борщ Н.А., Кувардин Н.В., Агеева Л.С., Кузьменко А.П. и др. // Изв. Юго-Запад. гос. ун-та. Сер.: техн. и технол. 2020. Т. 10(4). С. 137.
13. Борщ Н.А., Давиденко А.А., Ефремова А.Н. // Ж. физ. химии. 2019. Т. 93. № 9. С. 1353. Borshch N.A., Davidenko A.A., Efremova A.N. // Rus. J. of Phys. Chem. A. 2019. V. 93. N. 9. P. 1733.
14. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М: Химия, 1989. 448 с.
15. Куриленко О.Д. Краткий справочник по химии. К.: Наукова думка, 1974. 967 с.
16. Лидин, Р. А., Андреева Л. Л., Молочко В.А. Справочник. М.: Дрофа, 2006. 685 с.
17. Миргород Ю.А., Борщ Н.А., Федосюк В.М., Юрков Г.Ю. // Ж. физ. химии. 2012. Т. 86. № 3. С. 489. Mirgorod Yu.A., Borshch N.A., Fedosyuk V.M., Yurkov G.Yu. // Rus. J. of Phys. Chem. A. 2012. T. 86. № 3. С. 418.
18. Миргород Ю.А., Борщ Н.А., Федосюк В.М., Юрков Г.Ю. // Неорган. материалы. 2012. Т. 48. № 12. С. 1375. Mirgorod Y.A., Borshch N.A., Fedosyuk V.M., Yurkov G.Y. // Inorganic Materials. 2013. V. 49. N. 1. P. 109.
19. Rathimeena M., Ponvel K.M., Chavali M. // J. of the Australian Ceramic Soc. 2021. V.57. P. 555–565. <https://doi.org/10.1007/s41779-020-00552-3>

*Об авторах:*

АГЕЕВА Лилия Сергеевна – кандидат химических наук, младший научный сотрудник Регионального центра нанотехнологий, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, e-mail: [liliya-ageeva-als@yandex.ru](mailto:liliya-ageeva-als@yandex.ru)

БОРЩ Николай Алексеевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Регионального центра нанотехнологий, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, e-mail: [nborsch@mail.ru](mailto:nborsch@mail.ru)

КУВАРДИН Николай Владимирович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Регионального центра нанотехнологий, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, e-mail: [kuvardin.nik@yandex.ru](mailto:kuvardin.nik@yandex.ru)

КУЗЬМЕНКО Александр Павлович – доктор физико-математических наук, директор Регионального центра нанотехнологий, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, e-mail: [ark3527@mail.ru](mailto:ark3527@mail.ru)

**FORMATION OF BASIC COPPER ACETATE NANOPHASE  
AND ITS STABILIZATION  
IN AQUEOUS MICELLAR SURFACE SOLUTIONS**

**L.S. Ageeva, N.A. Borsch, N.V. Kuvardin, A.P. Kuzmenko**

Southwest State University, Kursk

When copper acetate interacts with sodium bicarbonate in water and aqueous micellar solutions of surfactants, the formation of a nanophase of basic copper acetate is observed. It has been shown by the methods of dynamic light scattering, small-angle X-ray diffraction and spectrophotometry that in these cases nanoparticles of basic copper acetate are formed with a complex pattern of size distribution in the range of up to 60 nm. Carrying out the reaction in aqueous micellar surfactant solutions leads to sedimentation stability of the nanophase, which depends on the concentration and nature of the surfactant. The calculated threshold and experimental initial concentration of copper acetate in the interaction with sodium bicarbonate in water and aqueous micellar solutions of surfactants, at which the nanophase of basic copper acetate is formed. The conditions for obtaining a nanoscale stable suspension of basic copper acetate, which can serve as the basis for a therapeutic anti-burn and wound-healing composition, are formulated.

**Keywords:** *basic copper acetate, nanophase, micellar surfactant solutions, anti-burn and wound-healing composition.*