

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

УДК 541.183:544.744
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2023-67-6-473-480>

Поступило в редакцию 07.04.2023
Received 07.04.2023

**С. В. Буча, А. Д. Воробьёв, Д. В. Чередниченко, Е. В. Воробьёва, Е. В. Лаевская,
академик Н. П. Крутько, Г. В. Бондарева**

*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

ВЛИЯНИЕ БИНАРНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕИОНОГЕННОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА И АНИОННОГО ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ДИСПЕРСИИ КАРБОНАТОВ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ

Аннотация. Изучено влияние полиакрилата натрия, полиэтиленгликоля различной молекулярной массы и их смесей на дисперсионную устойчивость карбонатов кальция и магния. Показано, что в присутствии бинарной системы светопропускание дисперсии уменьшается в 1,2–1,5 раза, содержание частиц мелкой фракции возрастает в 1,1–1,3 раза по сравнению с компонентами. Устойчивость дисперсии карбонатов зависит от соотношения компонентов в бинарной системе и их молекулярной массы. Формирование на межфазной границе адсорбционных сольватированных слоев из молекул полиакрилата и полиэтиленгликоля способствует повышению устойчивости дисперсии карбонатов.

Ключевые слова: неионогенное поверхностно-активное вещество, полиакрилат натрия, полиэтиленгликоль, карбонат кальция, карбонат магния, дисперсия, устойчивость, адсорбция

Для цитирования. Влияние бинарной системы на основе неионогенного поверхностно-активного вещества и анионного полиэлектролита на устойчивость дисперсии карбонатов кальция и магния / С. В. Буча [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2023. – Т. 67, № 6. – С. 473–480. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2023-67-6-473-480>

**Sviatlana V. Bucha, Artem D. Vorobiev, Denis V. Cherednichenko, Elena V. Vorobieva,
Elena V. Laevskaya, Academician Nikolay P. Krutko, Halina V. Bondareva**

*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

EFFECT OF A NONIONIC SURFACTANT AND ANIONIC POLYELECTROLYTE BINARY SYSTEM ON THE STABILITY OF A CALCIUM AND MAGNESIUM CARBONATES DISPERSION

Abstract. The effect of sodium polyacrylate, polyethylene glycol of various molecular weights, and their mixtures on the dispersion stability of calcium and magnesium carbonates was studied. It was shown that in the presence of a binary system, the light transmission of the dispersion decreases 1.2–1.5 times, the content of fine fraction particles increases by 1.1–1.3 times compared to the individual components. The stability of the dispersion of carbonates depends on the components ratio in the binary system and their molecular weight. The formation of adsorption solvated layers of polyacrylate and polyethylene glycol molecules at the interphase boundary contributes to an increase in the stability of the carbonate dispersion.

Keywords: nonionic surfactant, sodium polyacrylate, polyethylene glycol, calcium carbonate, magnesium carbonate, dispersion, stability, adsorption

For citation. Bucha S. V., Vorobiev A. D., Cherednichenko D. V., Vorobieva E. V., Laevskaya E. V., Krutko N. P., Bondareva H. V. Effect of a nonionic surfactant and anionic polyelectrolyte binary system on the stability of a calcium and magnesium carbonates dispersion. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2023, vol. 67, no. 6, pp. 473–480 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2023-67-6-473-480>

Введение. Высокомолекулярные соединения и низкомолекулярные поверхностно-активные вещества (ПАВ), известные как эффективные стабилизаторы дисперсных систем, способные повысить седиментационную и агрегативную устойчивость дисперсий, широко используются в различных областях – при производстве лаков, красок, бумаги, получении эмульсий в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности, а также для стабилизации дисперсий карбонатов кальция и магния, образующихся в водооборотных системах охлаждения [1–3]. В [4] показано, что эффективность стабилизации дисперсий карбонатов кальция и магния может быть существенно повышена применением бинарной системы на основе неионогенного ПАВ полиэтиленгликоля и анионного полиэлектролита полиакрилата натрия.

Известно, что к наиболее эффективным высокомолекулярным стабилизаторам дисперсий относятся сополимеры, один компонент которых взаимодействует с поверхностью, другой обладает сродством к дисперсионной среде [5]. Стабилизирующее действие компонентов связано с их адсорбцией на поверхности дисперсной фазы и структурой формирующихся адсорбционных слоев. В бинарной системе на основе полиэтиленгликоля и полиакрилата натрия в состав последнего входят ионогенные группы с зарядом, противоположным заряду частиц дисперсии карбонатов, что способствует взаимодействию полимерного компонента с поверхностью. Полиэтиленгликоль хорошо растворим в дисперсионной среде (вода) и обладает слабым сродством к поверхности карбонатов. Увеличение эффективности стабилизации при использовании бинарной системы на основе полиэтиленгликоля и полиакрилата натрия обусловлено взаимным влиянием компонентов смеси на поверхности частиц дисперсной фазы.

Несмотря на то что многие аспекты влияния ПАВ и полимеров на устойчивость дисперсий хорошо изучены [6; 7], механизм стабилизирующего действия их бинарных систем остается спорным. Это может быть связано с тем, что изучалась, в основном, зависимость устойчивости дисперсий от природы и количества добавляемых реагентов, их молекулярной массы, условий внесения, состава дисперсионной среды, присутствия электролита и других факторов. Адсорбция компонентов бинарной системы, их влияние на двойной электрический слой дисперсной фазы карбонатов, особенности формирующихся адсорбционных слоев изучены недостаточно. Это ограничивает возможности решения практических задач разработки эффективных комплексных стабилизаторов дисперсий осадков карбонатов щелочноземельных металлов, образующихся в водных системах охлаждения на предприятиях химической отрасли.

В настоящем сообщении представлены результаты, характеризующие влияние бинарной системы на основе неионогенного поверхностно-активного вещества и анионного полиэлектролита на устойчивость дисперсии карбонатов кальция и магния.

Материалы и методы исследования. Осаждение карбонатов кальция и магния (далее – карбонатов) проводили при постоянном соотношении $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, равном 3,7. В экспериментах использовали 1,0 М водные растворы CaCl_2 и NaHCO_3 и 0,1 М раствор MgCl_2 , приготовленные из солей квалификации х. ч. Суммарная концентрация ионов кальция и магния в растворе 0,1 М, рН 8,5. Смесь солей перемешивали и нагревали при (80 ± 5) °С в течение 3 ч, образовавшийся осадок отфильтровывали, измельчали (размер частиц менее 0,05 мм), сушили до постоянного веса при (120 ± 5) °С и хранили в эксикаторе.

В работе использовали натриевую соль полиакриловой кислоты (ПА) с различной молекулярной массой (ММ): 1000, 2000, 5100, 8000, 15000, полиэтиленгликоль (ПЭГ) (ММ 400, 2000 и 6000) (Sigma-Aldrich) и их смеси с различным соотношением компонентов. Адсорбцию ПА определяли по разности концентрации полимера в растворе до и после его контакта с дисперсией. Условия опытов были следующие: определенное количество осадка карбонатов диспергировали в 100 мл раствора полимера заданной концентрации, смесь перемешивали в течение 4 ч, полученный осадок отделяли на центрифуге Sigma 3-15 при 5000 об/мин (30 мин). Жидкую фазу анализировали на содержание полиакрилата, используя спектрофотометрическое определение нерастворимой комплексной соли ПА с аминоксодержащим ПАВ (бензетония хлорид).

Для исследования седиментационной устойчивости дисперсий навески образцов (фракция с диаметром частиц 10 мкм) массой 1,0 г помещали в стаканы емкостью 150 мл, заливали дистиллированной водой или раствором ПАВ, полимера или их смеси (99,0 г), перемешивали на магнитной мешалке со скоростью 600 об/мин при температуре (22 ± 2) °С, после чего из стакана с одинаковой глубины отбирали определенное количество дисперсии, переносили в мерную колбу и доводили до 100 мл дистиллированной водой. Значение рН дисперсии регулировали раствором гидроксида натрия. Измерения светопропускания проводили при длине волны 450 нм в стеклянной кювете толщиной 30 мм через каждые 30 мин.

Изображения дисперсии карбонатов получены с использованием электронного сканирующего микроскопа JSM-5610 6LV с системой химического анализа EDXJED-2201 JEOL (Япония). Образцы дисперсии исследовали после перемешивания в течение 4 ч на магнитной мешалке со скоростью 600 об/мин при температуре (20 ± 1) °С в присутствии ПА, ПЭГ и ПА-ПЭГ (1 : 1).

Электрокинетические характеристики растворов полимеров определяли с использованием автоматической установки – микроэлектрофорометра Zetaphoremeter IV фирмы CAD Instrumentation (Франция). Принцип работы прибора основан на измерении электрофоретической подвижности частиц с последующим расчетом величины ζ -потенциала (дзета-потенциал). Расчет осуществляли с использованием программного обеспечения Zeta Cad (CAD Instrumentation, Франция).

Результаты и их обсуждение. Согласно современным представлениям, устойчивость дисперсных систем определяется балансом сил притяжения и отталкивания между частицами. В случае стабилизированных дисперсий к ним можно отнести силы ван-дер-ваальсового притяжения и отталкивания двойных электрических слоев. Адсорбция водорастворимых полимеров заряженными частицами приводит к изменению баланса указанных сил и вызывает появление дополнительных сил отталкивания за счет взаимодействия адсорбированных макромолекул полимеров и появления (или усиления роли) сольватационного фактора устойчивости [8; 9]. Большие размеры молекул, несущих собственные сольватные оболочки, создают на поверхности частиц адсорбционно-сольватные слои большой протяженности и плотности.

Адсорбция макромолекул ПА приводит к изменению параметров двойного электрического слоя (рис. 1). В водной среде на гидратированной поверхности частиц ионы кальция, магния, карбонат- и бикарбонат-ионы взаимодействуют с противоионами. Молекулы ПА, содержащие карбоксилат-ионы (COO^-), способны вытеснить из слоя Штерна часть адсорбированных противоионов. Как видно из рис. 1, ход кривых, характеризующих уменьшение ζ -потенциала частиц при концентрации полимера до 4 мг/л и выход на плато при более высокой концентрации, мало зависит от молекулярной массы полимера.

Форма изотерм адсорбции ПА (рис. 2) с резким подъемом в области низких концентраций полимера свидетельствует об электростатическом характере взаимодействия диссоциированных карбоксильных групп с ионами кальция и магния. Структура (плотность и толщина) адсорбционного слоя определяется числом и длиной сегментов полимерной цепи, не контактирующих с поверхностью. Адсорбционные слои из молекул ПА на разных частицах состоят из сегментов, содержащих функциональные группы с одинаковым зарядом, в связи с чем частицы отталкиваются друг от друга и устойчивость дисперсии возрастает.

Устойчивость дисперсии карбонатов зависит от ММ и концентрации ПА. Использование ПА с ММ 2000 и 5100 при концентрации 0,1 мг/л приводит к увеличению мутности дисперсии и, соответственно, уменьшению светопропускания дисперсии на 22–25 % по сравнению с вариан-

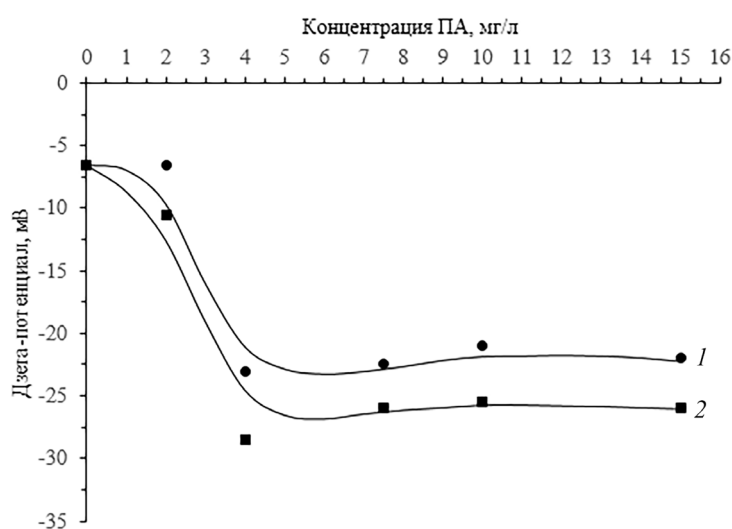


Рис. 1. Электрокинетический потенциал поверхности частиц карбоната кальция и магния при введении ПА с ММ 2000 (1) и 5100 (2)

Fig. 1. Electrokinetic potential of the surface of calcium and magnesium carbonate particles in presence of PA with MM 2000 (1) and 5100 (2)

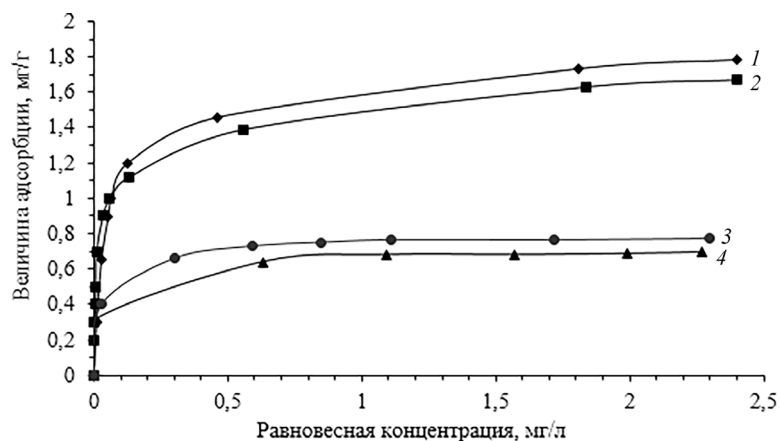


Рис. 2. Адсорбция ПА с ММ 2000 (1); 5100 (2); 8000 (3); 15000 (4)

Fig. 2. Adsorption of PA with MM 2000 (1); 5100 (2); 8000 (3); 15000 (4)

том без добавок (рис. 3). Повышение молекулярной массы ПА способствует образованию более плотного адсорбционного слоя, препятствующего агрегации частиц осадка.

Экспериментально показано, что ПЭГ относительно слабо взаимодействует с поверхностью частиц дисперсии: величина адсорбции для выбранного диапазона концентраций ПЭГ не превышает 0,05–0,10 мг/г и практически не зависит от ММ полимера. Устойчивость дисперсии карбонатов при введении ПЭГ не изменяется, светопропускание не зависит от концентрации ПЭГ.

Введение ПЭГ₂₀₀₀ и ПА₅₁₀₀ приводит к увеличению устойчивости дисперсии карбонатов в большей степени по сравнению с компонентами, о чем свидетельствует отклонение экспериментально полученных данных от линии аддитивности (рис. 4). Обнаруженный синергетический эффект стабилизации дисперсии при введении бинарной системы «ПА–ПЭГ» может быть обусловлен влиянием ПЭГ на адсорбцию ПА. Однако полученные нами экспериментальные данные свидетельствуют об отсутствии такого влияния. В бинарной системе возможно перераспределение адсорбированных сегментов ПА в зоне перекрытия с молекулами ПЭГ на поверхности частиц. В исследуемой системе в адсорбционном слое одинаково вероятны как взаимное проникновение молекул ПА и ПЭГ, так и взаимодействие адсорбированных веществ с растворителем и образование сольватного слоя [10; 11].

Как следует из рис. 4, при введении в дисперсию бинарной системы «ПА–ПЭГ» с увеличением содержания ПЭГ от 20 до 80 % устойчивость дисперсии уменьшается в среднем в 1,4 раза

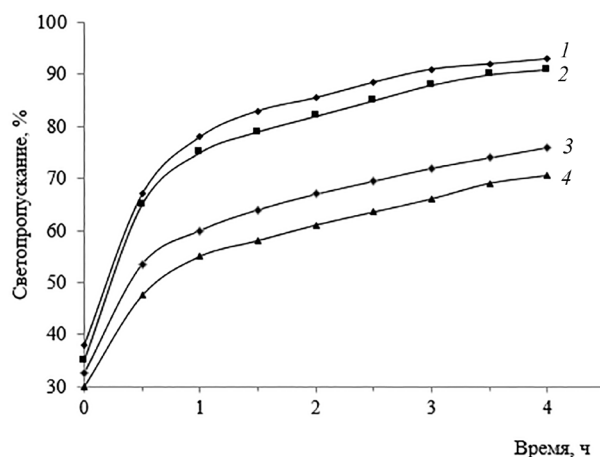


Рис. 3. Светопропускание дисперсии карбонатов в зависимости от времени осаждения: без добавок (1) и в присутствии ПА (0,1 мг/л) с ММ 1000 (2); 2000 (3) и 5100 (4)

Fig. 3. Light transmission of a dispersion of carbonates depending on the deposition time: without additives (1) and in the presence of PA (0.1 mg/l) with MM 1000 (2); 2000 (3) and 5100 (4)

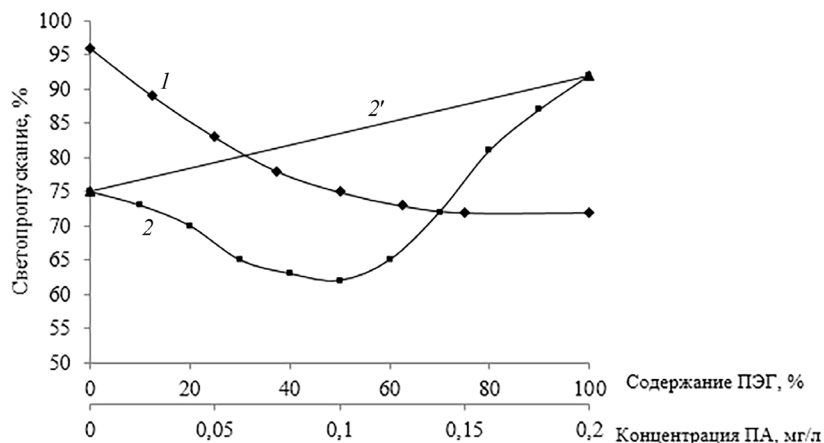


Рис. 4. Светопропускание дисперсии карбонатов в зависимости от концентрации ПА (1) и содержания ПЭГ₂₀₀₀ в смеси с ПА₅₁₀₀ (2 – экспериментальные данные; 2' – линия аддитивности)

Fig. 4. Light transmission of dispersion of carbonates depending on the concentration of PA (1) and the content of PEG₂₀₀₀ in a mixture with PA₅₁₀₀ (2 – experimental data; 2' – additivity line)

по сравнению с ПЭГ и в 1,1 раза по сравнению с ПА. Уменьшение содержания ПЭГ менее 20 % и увеличение более 80 % сопровождается незначительным изменением светопропускания дисперсии по сравнению с компонентами системы в индивидуальном состоянии.

Полиэтиленгликоль, благодаря наличию оксиэтильных и гидроксильных групп и способности к образованию водородных связей, сольватирует поверхность частиц. Адсорбционно-сольватный фактор стабилизации при образовании на межфазной границе полимолекулярных защитных слоев из высокомолекулярных соединений и сольватированных молекул ПАВ [12; 13] способствует повышению устойчивости дисперсии карбонатов.

Влияние бинарной системы «ПА–ПЭГ» на устойчивость дисперсии зависит от молекулярной массы компонентов. Увеличение ММ ПЭГ приводит к уменьшению светопропускания (рис. 5), что свидетельствует о повышении устойчивости дисперсии. Изменение молекулярной массы ПА оказывает более заметное влияние на оптические свойства дисперсии по сравнению с ПЭГ.

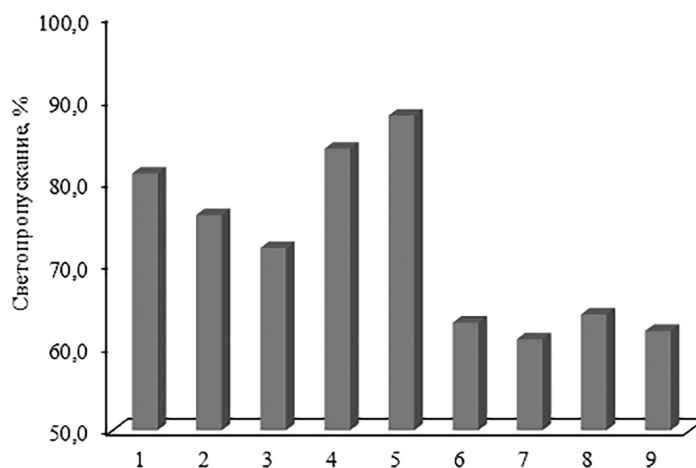


Рис. 5. Светопропускание (через 4 ч) дисперсии карбонатов в присутствии системы «ПА–ПЭГ» (0,1 мг/л; 40 % ПЭГ) в зависимости от ММ компонентов: «ПА₁₀₀₀–ПЭГ₄₀₀» (1); «ПА₂₀₀₀–ПЭГ₄₀₀» (2); «ПА₅₁₀₀–ПЭГ₄₀₀» (3); «ПА₈₀₀₀–ПЭГ₂₀₀₀» (4); «ПА₁₅₀₀₀–ПЭГ₂₀₀₀» (5); «ПА₂₀₀₀–ПЭГ₂₀₀₀» (6); «ПА₅₁₀₀–ПЭГ₂₀₀₀» (7); «ПА₂₀₀₀–ПЭГ₆₀₀₀» (8); «ПА₅₁₀₀–ПЭГ₆₀₀₀» (9)

Fig. 5. Light transmission (after 4 h) of carbonate dispersions in the presence of the “PA–PEG” system (0.1 mg/l; 40 % PEG) depending on the MW of the components: “PA₁₀₀₀–PEG₄₀₀” (1); “PA₂₀₀₀–PEG₄₀₀” (2); “PA₅₁₀₀–PEG₄₀₀” (3); “PA₈₀₀₀–PEG₂₀₀₀” (4); “PA₁₅₀₀₀–PEG₂₀₀₀” (5); “PA₂₀₀₀–PEG₂₀₀₀” (6); “PA₅₁₀₀–PEG₂₀₀₀” (7); “PA₂₀₀₀–PEG₆₀₀₀” (8); “PA₅₁₀₀–PEG₆₀₀₀” (9)

Увеличение светопропускания дисперсии в присутствии ПА с ММ 8000 и 15000 обусловлено флокуляцией частиц макромолекулами ПА и осаждением флокул. Как видно из рис. 5, наиболее высокую эффективность стабилизирующего действия проявляют бинарные системы, содержащие ПЭГ с ММ 2000 и 6000 и ПА с ММ 2000 и 5100.

ПЭГ не оказывает заметного влияния на фракционный состав дисперсии карбонатов (таблица). В присутствии ПА содержание мелких частиц (размер 1–20 мкм) увеличивается по сравнению с дисперсией без добавок в 1,2 раза, крупных частиц (размер 40–100 мкм) уменьшается в 2 раза. В присутствии бинарной системы на основе ПА и ПЭГ содержание мелких частиц с размером 1–20 мкм возрастает в 1,3 раза по сравнению с дисперсией без добавок, в 1,2 раза по сравнению с ПЭГ и в 1,1 раза – с ПА. Влияние системы «ПЭГ–ПА» на фракционный состав осадка карбонатов в большей степени проявляется при содержании ПЭГ в смеси от 30 до 70 %.

Фракционный состав осадка карбонатов в присутствии ПА и ПЭГ (концентрация 0,1 мг/л)
Size distribution of carbonate precipitate in the presence of PA and PEG (concentration 0.1 mg/l)

Наименование добавки	Содержание (%) частиц осадка с размером (мкм)		
	1–20	20–40	40–100
Без добавок	73,4	21,6	5,0
ПА ₅₁₀₀	86,8	10,7	2,5
ПЭГ ₂₀₀₀	75,2	20,3	4,5
Система ПА–ПЭГ, содержащая ПЭГ, %			
30	89,6	9,1	1,3
40	93,5	5,8	0,7
50	94,4	4,8	0,8
60	94,9	4,2	0,9
70	90,7	7,6	1,7

Из фотографий, приведенных на рис. 6, видно, что размер и форма частиц дисперсии при введении ПЭГ и ПА по отдельности отличаются от дисперсии с бинарной системой ПА–ПЭГ. Учитывая аналогичные условия получения образцов дисперсии (время и интенсивность перемешивания, температура) и одинаковое содержание стабилизирующей добавки (0,1 мг/л), можно сделать вывод о том, что формирование мелких круглых агрегатов в присутствии ПА–ПЭГ и их высокое содержание по сравнению с крупными частицами (таблица) может быть обусловлено изменением механизма стабилизирующего действия бинарных систем по сравнению с индивидуальными компонентами.

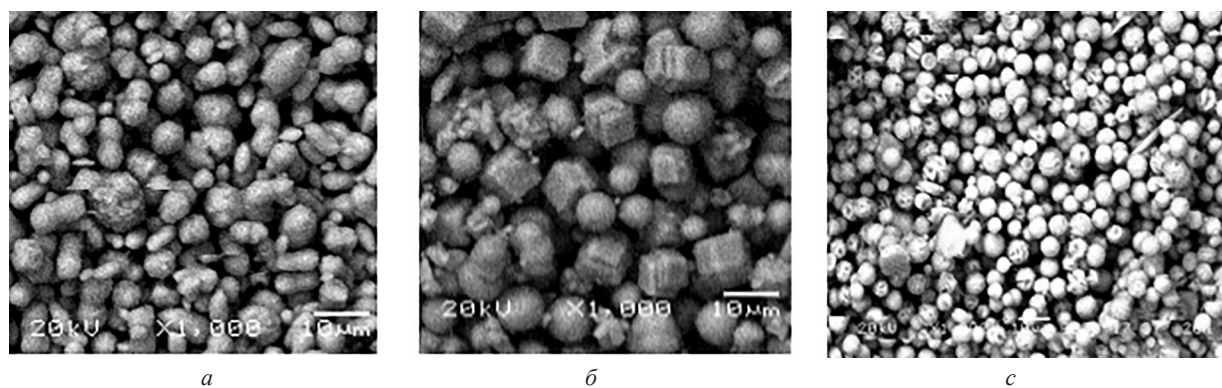


Рис. 6. Фотографии (увеличение в 1000 раз) частиц дисперсии карбонатов в присутствии ПА (а), ПЭГ (б) и ПА–ПЭГ (1 : 1) (с)

Fig. 6. Photographs (1000 times magnification) of carbonate dispersion particles in the presence of PA (a), PEG (b) and PA–PEG (1 : 1) (c)

В исследуемой системе устойчивость дисперсии карбонатов обусловлена действием как структурно-механического, так и адсорбционно-сольватного факторов стабилизации. Адсорбированные молекулы ПА образуют на поверхности частиц структуры, обладающие упругостью и механической прочностью, разрушение которых требует определенной энергии и времени. Молекулы ПЭГ увеличивают прочность стерического барьера, кроме того, вследствие хорошего взаимодействия с растворителем, – сольватной оболочки на поверхности дисперсной фазы. Чем более развита и прочна сольватная оболочка, тем большей потенциальной энергией должны обладать коллоидные частицы для преодоления адсорбционно-сольватного барьера, и тем выше устойчивость дисперсии.

Заключение. Обнаружен синергетический эффект повышения устойчивости водной дисперсии карбонатов кальция и магния в присутствии бинарной системы «ПА–ПЭГ» на основе неионогенного ПАВ полиэтиленгликоля и анионного полиэлектролита полиакрилата натрия. Светопропускание дисперсии уменьшается в 1,2 и в 1,5 раза, а содержание частиц мелкой фракции (1–20 мкм) возрастает в 1,1 и в 1,3 раза по сравнению с ПА и ПЭГ соответственно. Эффект повышения устойчивости в большей степени выражен при соотношении компонентов ПА : ПЭГ = 1 : (0,75–1,25) с молекулярной массой ПА и ПЭГ 2000–6000. Стабилизирующее действие ПА в дисперсии карбонатов обусловлено адсорбцией молекул ПА на поверхности частиц и формированием адсорбционного слоя из сегментов полимерной цепи. При использовании бинарной системы перераспределение адсорбированных сегментов ПА с молекулами ПЭГ на поверхности частиц способствует образованию более плотного адсорбционного слоя, препятствующего агрегации частиц осадка.

Список использованных источников

1. Kovalev, D. M. Nanofoam-like structure of surfactants in oil-water mixtures / D. M. Kovalev, V. S. Kravchenko, I. I. Potemkin // *J. Mol. Liq.* – 2022. – Vol. 360. – P. 119568–119591. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119568>
2. Анисимова, С. В. Стабилизация биоцидных композиций на основе водных дисперсий акриловых сополимеров / С. В. Анисимова // *Лакокрасочная промышленность.* – 2007. – № 2. – С. 2–4.
3. Reddy, M. M. Calcite Crystal Growth Rate Inhibition by Polycarboxylic Acids / M. M. Reddy, A. R. Hoch // *J. Colloid Interface Sci.* – 2001. – Vol. 235, N 2. – P. 365–370. <https://doi.org/10.1006/jcis.2000.7378>
4. Влияние полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля на кристаллизацию карбонатов кальция и магния / И. В. Шестак [и др.] // *Докл. Нац. акад. наук Беларуси.* – 2010. – Т. 54, № 2. – С. 77–81.
5. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг [и др.]. – М., 2007. – 528 с.
6. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – М., 2004. – 445 с.
7. Stability of the dispersed system in inverse emulsion polymerization of ionic acrylate monomers / A. I. Nechaev [et al.] // *Colloid. Polym. Sci.* – 2021. – Vol. 299. – P. 1127–1138. <https://doi.org/10.1007/s00396-021-04832-7>
8. Colloid surfactants for emulsion stabilization / J.-W. Kim [et al.] // *Adv. Mater.* – 2008. – Vol. 20, N 17. – P. 3239–3243. <https://doi.org/10.1002/adma.200800484>
9. Соболева, О. А. Смешанные мицеллы и адсорбционные слои неионогенного поверхностно-активного вещества с катионным (мономерным и димерным) / О. А. Соболева, М. В. Кривобокова // *Вестн. Московского ун-та. Сер. Химия.* – 2004. – Т. 45, № 5. – С. 344–349.
10. Guyomard, A. Buildup of multilayers based on amphiphilic polyelectrolytes / A. Guyomard, G. Muller, K. Glinel // *Macromol.* – 2005. – Vol. 38, N 13. – P. 5737–5742. <https://doi.org/10.1021/ma050867n>
11. Дебриер, Ж. Межфазные свойства амфифильных систем на основе природных полимеров – производных хитина / Ж. Дебриер, В. Г. Бабак // *Рос. хим. журн.* – 2008. – Т. 52, № 1. – С. 75–84.
12. Масимов, Э. А. Вискозиметрическое исследование разбавленных водных растворов полиэтиленгликолей с различной молекулярной массой / Э. А. Масимов, Б. Г. Пашаев, Г. Ш. Гасанов // *Журн. физ. химии.* – 2019. – Т. 93, № 5. – С. 779–781. <https://doi.org/10.1134/s0036024419050224>
13. Полимерные комплексы на основе полиакриловой кислоты, полиэтиленгликоля и поливинилового спирта / Е. В. Воробьева [и др.] // *Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. навук.* – 2008. – № 1. – С. 21–25.

References

1. Kovalev D. M., Kravchenko V. S., Potemkin I. I. Nanofoam-like structure of surfactants in oil-water mixtures. *Journal of Molecular Liquids*, 2022, vol. 360, pp. 119568–119591. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119568>
2. Anisimova S. V. Stabilization of biocidal compositions based on aqueous dispersions of acrylic copolymers. *Lakokrashchaya promyshlennost' = Paint & Coatings Industry*, 2007, no. 2, pp. 2–4 (in Russian).
3. Reddy M. M., Hoch A. R. Calcite crystal growth rate inhibition by polycarboxylic acids. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2001, vol. 235, no. 2, pp. 365–370. <https://doi.org/10.1006/jcis.2000.7378>

4. Shestak I. V., Vorobieva E. V., Basalyha I. I., Krutko N. P., Kulbitskaya L. V. Polyacrylic acid and polyethylene glycol influence on the crystallization of calcium carbonates and magnesium. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2010, vol. 54, no. 2, pp. 77–81 (in Russian).
5. Holmberg K., Jönsson B., Kronberg B., Lindman B. *Surfactants and polymers in aqueous solutions*. Moscow, 2007. 528 p. (in Russian).
6. Shchukin E. D., Percov A. V., Amelina E. A. *Colloid chemistry*. Moscow, 2004. 445 p. (in Russian).
7. Nechaev A. I., Voronina N. S., Valtisfer V. A., Strelnikov V. N. Stability of the dispersed system in inverse emulsion polymerization of ionic acrylate monomers. *Colloid and Polymer Science*, 2021, vol. 299, pp. 1127–1138. <https://doi.org/10.1007/s00396-021-04832-7>
8. Kim J.-W., Lee D., Shum H. C., Weitz D. A. Colloid surfactants for emulsion stabilization. *Advanced Materials*, 2008, vol. 20, no. 17, pp. 3239–3243. <https://doi.org/10.1002/adma.200800484>
9. Soboleva O. A., Krivobokova M. V. Mixed micelles and adsorption layers of nonionic surfactant with monomeric and dimeric cationic surfactants. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 2. Himiya = Bulletin of Moscow University. Chemistry series*, 2004, vol. 45, no. 5, pp. 344–349 (in Russian).
10. Guyomard A., Muller G., Glinel K. Buildup of multilayers based on amphiphilic polyelectrolytes. *Macromolecules*, 2005, vol. 38, no. 13, pp. 5737–5742. <https://doi.org/10.1021/ma050867n>
11. Desbrieres J., Babak V. G. Interfacial properties of amphiphilic systems on the basis of natural polymers-chitin derivatives. *Russian Journal of General Chemistry*, 2008, vol. 78, no. 11, pp. 2230–2238. <https://doi.org/10.1134/s1070363208110443>
12. Masimov E. A., Pashayev B. G., Hasanov H. S. Viscometric study of diluted aqueous solutions of polyethylene glycols of different molecular weights. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2019, vol. 93, no. 5, pp. 988–990. <https://doi.org/10.1134/s0036024419050224>
13. Vorobeva E. V., Krutko N. P., Basalyga I. I., Matrunchik Ju. V. Polymer complexes based on polyacrylic acid, polyethylene glycol and polyvinyl alcohol. *Vestsi Natsyynal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2008, no. 1, pp. 21–25 (in Russian).

Информация об авторах

Буча Светлана Васильевна – науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: buchala003@gmail.com.

Воробьев Артем Дмитриевич – канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: avorobiov@igic.bas-net.by.

Чередниченко Денис Викторович – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: cherednichenko_dv@tut.by.

Воробьева Елена Викторовна – д-р хим. наук, доцент, заведующий лабораторией. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: evorobieva@igic.bas-net.by.

Лаевская Елена Васильевна – канд. техн. наук, заведующий лабораторией. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: laeuskaya@gmail.com.

Крутко Николай Павлович – академик, д-р хим. наук, профессор, генеральный директор. ГНПО «Химические продукты и технологии» (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: krutko@igic.bas-net.by.

Бондарева Галина Валерьевна – канд. хим. наук, ученый секретарь. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: sekretar@igic.bas-net.by.

Information about the authors

Bucha Sviatlana V. – Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: buchala003@gmail.com.

Vorobiev Artem D. – Ph. D. (Engineering), Leading Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: avorobiov@igic.bas-net.by.

Cherednichenko Denis V. – Ph. D. (Chemistry), Leading Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: cherednichenko_dv@tut.by.

Vorobieva Elena V. – D. Sc. (Chemistry), Associate Professor, Head of the Laboratory. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: evorobieva@igic.bas-net.by.

Layevskaya Elena V. – Ph. D. (Engineering), Head of the Laboratory. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: laeuskaya@gmail.com.

Krutko Nikolay P. – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, General Director. State Research and Production Association «Chemical Products and Technologies» (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: krutko@igic.bas-net.by.

Bondareva Halina V. – Ph. D. (Chemistry), Scientific Secretary. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Sarganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sekretar@igic.bas-net.by.