

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)

КАЛОИДНАЯ ХИМИЯ
COLLOIDAL CHEMISTRY

УДК 544.77.03+544.77.052.22
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-3-271-277>

Поступила в редакцию 24.04.2020
Received 24.04.2020

П. Д. Воробьев, С. В. Буча, Ю. В. Липай, Д. В. Чердниченко, Н. П. Крутько

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

**ВЛИЯНИЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ И ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
НА УСТОЙЧИВОСТЬ МИКРОГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ**

Аннотация. Показано, что устойчивость водной и солевой дисперсии каолина уменьшается при введении катионного полиэлектролита и его смесей с поверхностно-активным веществом. Флокулирующая способность катионного полиэлектролита уменьшается с ростом содержания ионогенных групп. Установлено увеличение флокуляции в солевой среде при введении смеси полиэлектролита с анионным ПАВ, а также при последовательном добавлении компонентов в дисперсию каолина.

Ключевые слова: дисперсные системы, полиэлектролит, флокуляция, поверхностно-активные вещества, агрегативная устойчивость

Для цитирования. Влияние полиэлектролитов и поверхностно-активных веществ на устойчивость микрогетерогенных систем / П. Д. Воробьев [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2020. – Т. 56, № 3. – С. 271–277. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-3-271-277>

P. D. Vorobiev, S. V. Bucha, Yu. V. Lipai, D. V. Cherednichenko, N. P. Krutko

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

**INFLUENCE OF POLYELECTROLYTES AND SURFACTANTS ON THE STABILITY OF
MICRONHETEROGENEOUS SYSTEMS**

Abstract. It is shown that the stability of the water and salt dispersion of kaolin decreases with the introduction of a cationic polyelectrolyte and its mixtures with a surfactant. The flocculating ability of the cationic polyelectrolyte decreases with increasing content of ionic groups. An increase in flocculation in a salt medium was established with the introduction of the mixture of polyelectrolyte with an anionic surfactant, as well as with the sequential addition of components to the kaolin dispersion.

Keywords: dispersed systems, polyelectrolyte, flocculation, surfactants, aggregative stability

For citation. Vorobiev P. D., Bucha S. V., Lipai Yu. V., Cherednichenko D. V., Krutko N. P. Influence of polyelectrolytes and surfactants on the stability of microheterogeneous systems. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical series*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 271–277 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-3-271-277>

Введение. Водорастворимые полимеры широко используются для регулирования устойчивости дисперсных систем. К наиболее распространенным, доступным, относительно недорогим, малотоксичным и высокоэффективным флокулянтам относятся полиакриламид и его анионные и катионные производные. Благодаря этим особенностям акриламидные полимеры используются в технологических процессах, связанных с разделением жидких и твердых фаз, для интенсификации флокуляции при очистке природных и сточных вод, концентрировании и обезвоживании минеральных суспензий [1–3]. При этом полимеры в зависимости от молекулярных характеристик и количества могут вызвать как снижение, так и повышение устойчивости коллоидной системы. Присутствие в сложных дисперсных системах сравнительно небольших концентраций активных ингредиентов (поверхностно-активных веществ, электролитов, красителей и др.) может оказаться определяющим для флокуляции, поскольку в данном случае они влияют как

на свойства поверхности частиц дисперсной фазы, так и на конформационное состояние макромолекул полимеров и, следовательно, на их адсорбционную и флокулирующую активность [3–5]. Развитие представлений о природе устойчивости смешанных микрогетерогенных систем является необходимым условием правильного выбора полимеров, пригодных для решения практических задач.

В данной работе на примере модельных микрогетерогенных систем изучено влияние акриламидных (со)полимеров в присутствии поверхностно-активных веществ различной природы и низкомолекулярного электролита на агрегативную устойчивость и флокуляцию водной и солевой дисперсий каолина.

Экспериментальная часть. В качестве полимерных флокулянтов использовали катионный полиэлектролит (КП) – сополимер акриламида с метилхлоридом диметиламинопропилакриламида ($MM\ 0,9 \times 10^7$), содержащий 7 (КП₁); 20 (КП₂) и 96 (КП₃) % ионогенных групп, анионный полиэлектролит (АП) – сополимер акриламида с акриловой кислотой, содержащий 10 (АП₁) и 20 (АП₂) % ионогенных групп и неионогенный полимер полиакриламид (ПА) с молекулярной массой около $0,9 \cdot 10^7$ (Sigma-Aldrich). В работе использовали поверхностно-активные вещества неионогенного типа (ПАВ_Н) – оксиэтиловый спирт; анионного типа (ПАВ_А) – додецилсульфат натрия; катионного типа (ПАВ_К) – цетилпиридиний хлорид.

Реологические свойства растворов полимеров определяли методом капиллярной вискозиметрии. По данным вискозиметрии проводили расчет эффективных размеров клубков макромолекул полимеров [6].

При приготовлении модельных суспензий каолин (ГОСТ 19608-84), предварительно отожженный при 350 °С, диспергировали в дистиллированной воде и растворах хлорида натрия (5 г каолина на 100 мл жидкой фазы). Использовали фракцию с преимущественным размером частиц менее 40 мкм.

Для исследования адсорбции полимера суспензию каолина после введения КП выдерживали в течение 15 мин, центрифугировали при 5000 об/мин в течение часа для полного удаления взвешенных частиц из системы, затем анализировали раствор. Для определения содержания КП в растворе над осадком использовали метод титрования раствором поливинилсульфата калия в присутствии индикатора толуидина синего.

Для исследования флокуляции суспензии определенное количество каолина заливали водой или раствором соли и оставляли на 4 ч для набухания, до и после добавления флокулянта перемешивали дисковой мешалкой с отверстиями путем вертикального перемещения в цилиндре. Скорость осаждения частиц определяли измерением времени перемещения (с повторностью не менее трех раз с точностью $\pm 0,5$ с) границы раздела фаз в цилиндре объемом 250 мл между двумя метками на расстоянии 100 мм одна от другой.

Результаты и их обсуждение. Изменение вязкости водных растворов полимеров при введении поверхностно-активных веществ (таблица) зависит от природы полимера и соотношения полимера и ПАВ. Учитывая, что в системе нет разбавления (при неизменном объеме меняется концентрация ПАВ) и принимая вязкость растворов полимеров за единицу, можно предположить, что изменение вязкости обусловлено взаимодействием компонентов.

Принимая степень изменения вязкости за параметр, характеризующий взаимодействие компонентов в растворе, можно видеть, что наиболее эффективно взаимодействие в системе, содержащей полимер (АП₂ или КП₂) и поверхностно-активное вещество с противоположными зарядами: (АП–ПАВ_К) и (КП–ПАВ_А). В литературе описаны результаты такого рода взаимодействия функциональных групп макромолекул полимера с полярными и метиленовыми группами молекул ПАВ [7, 8]. Обнаруженное скачкообразное нелинейное изменение вязкости раствора смеси в зависимости от концентрации ПАВ объясняется взаимодействием макромолекул полимеров и домицеллярных структур ПАВ на первой стадии и мицелл ПАВ на втором этапе. По-видимому, при комплексобразовании не происходит разрушения мицелл ПАВ и макромолекулы полимера реагируют именно с мицеллами.

При введении в систему низкомолекулярного электролита увеличивается тенденция макромолекул полимеров к глобулизации, а молекул ПАВ – к мицеллообразованию, что, в принципе,

может привести к разрушению комплекса полимер–ПАВ [8, 9]. В рассматриваемом случае этого не происходит, что подтверждается сравнением вязкости солевых растворов смеси и полимера (рис. 1). Вязкость солевого раствора (хлорид натрия) смесей КП–ПАВ_А и АП–ПАВ_К (мольное соотношение полимера и ПАВ – 1,0:0,1) остается меньше вязкости солевого раствора полиэлектролитов без добавок ПАВ (вязкость растворов полимеров принята за 1) в исследуемом диапазоне концентраций соли.

Относительное изменение вязкости водных растворов смесей полимер–ПАВ по сравнению с полимерами (вязкость растворов полимеров принята за 1)

Relative changing in the viscosity of aqueous solutions of polymer–surfactant mixtures compared with polymers (viscosity of polymer solutions is taken as 1)

Соотношение (мольное) полимер/ПАВ	Изменение вязкости смесей								
	АП-ПАВ _А	АП-ПАВ _Н	АП-ПАВ _К	ПА-ПАВ _А	ПА-ПАВ _Н	ПА-ПАВ _К	КП-ПАВ _А	КП-ПАВ _Н	КП-ПАВ _К
1,0:0,005	1,02	0,99	0,90	0,99	0,99	1,0	0,88	0,99	1,01
1,0:0,01	1,03	0,97	0,86	0,98	0,98	0,99	0,74	0,99	1,02
1,0:0,05	1,03	0,94	0,72	0,96	0,92	0,97	0,69	0,96	1,02
1,0:0,10	1,0	0,93	0,65	0,93	0,88	0,93	0,63	0,91	1,03
1,0:0,50	1,05	0,90	0,56	0,91	0,84	0,91	0,52	0,89	1,05
1,0:1,0	1,06	0,85	0,52	0,84	0,79	0,86	0,49	0,85	1,05
1,0:1,25	1,06	0,86	0,48	0,83	0,74	0,84	0,47	0,83	1,05
1,0:1,50	1,05	0,85	0,50	0,83	0,75	0,84	0,47	0,83	1,05

Известно, что влияние природы полимера на флокуляцию в значительной мере определяется характером адсорбционных взаимодействий макромолекул с поверхностью частиц. Важным фактором, определяющим возможность флокуляции, является достаточно прочное связывание макромолекулы с частицами, чему способствует образование водородных или химических связей между активными центрами поверхности и функциональными группами флокулянта [10, 11]. В то же время образование большого числа контактов макромолекулы с поверхностью, приводящее к значительной деформации полимера при адсорбции, ухудшает условия флокуляции.

При адсорбции катионных полиэлектролитов на частицах каолина существенный вклад во взаимодействие макромолекул и поверхности вносят электростатические силы. Рост степени ионизации КП приводит к увеличению его адсорбции вследствие электростатического взаимодействия макромолекул с отрицательно заряженной поверхностью глинистых частиц по механизму «нейтрализации зарядов» (рис. 2). В присутствии неорганической соли и с ростом ее концентрации адсорбция КП уменьшается по сравнению с адсорбцией из водных растворов, что связано с изменением параметров двойного электрического слоя частиц и конкуренцией между ионами соли и заряженными сегментами макромолекул полиэлектролита [8, 12].

Принимая во внимание зависимость конформационного состояния макромолекул и свойств поверхности твердой фазы от ионной силы раствора, можно предположить, что при постоянных параметрах поверхности основным фактором является размер макромолекул. Уменьшение размеров вследствие «сворачивания» полимерного клубка при

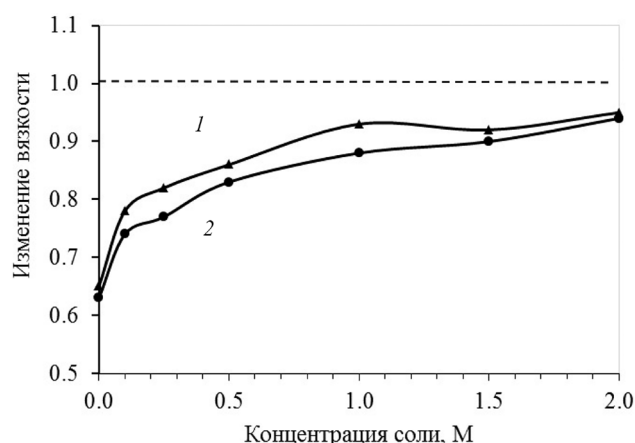


Рис. 1. Относительное изменение вязкости солевых растворов (NaCl) смесей АП–ПАВ_К (1) и КП–ПАВ_А (2) по сравнению с полимерами

Fig. 1. The relative change in the viscosity of saline solutions (NaCl) of mixtures AP–S_C (1) and CP–S_A (2) compared with polymers

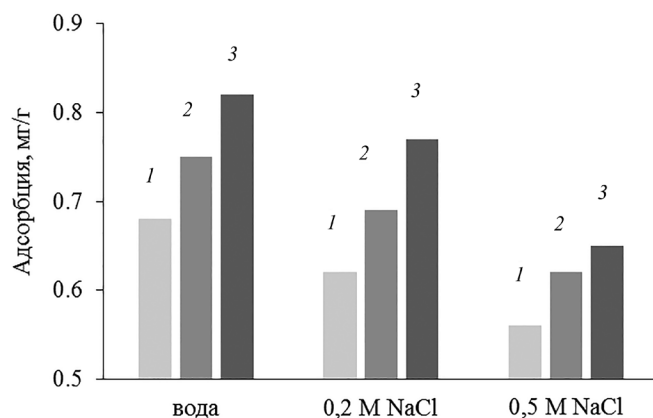


Рис. 2. Адсорбция КП₁ (1), КП₂ (2) и КП₃ (3) в зависимости от состава дисперсионной среды

Fig. 2. Adsorption of CP₁ (1), CP₂ (2) and CP₃ (3) depending on the composition of the dispersion medium

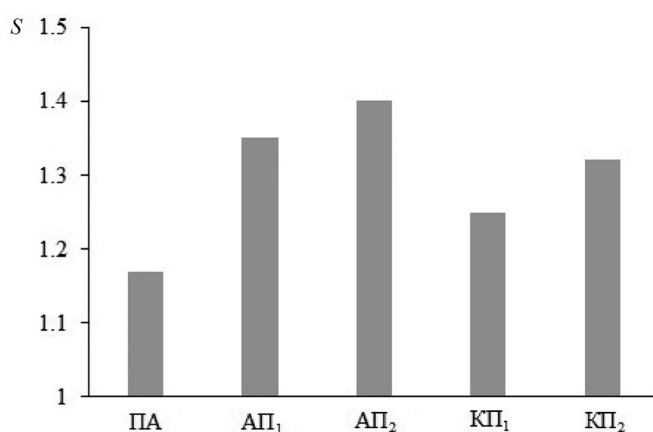


Рис. 3. Степень изменения эффективного объема (S) макромолекул полимеров при переходе от водного раствора к солевому

Fig. 3. The variation of the effective volume (S) of polymer macromolecules when passing from aqueous to the saline solution

тяженности «петель» и «хвостов» на поверхности частиц вызывают эффект «сжатия» адсорбционного полимерного слоя, что ухудшает условия для агрегации частиц. Сравнение скорости осаждения водной дисперсии каолина катионными флокулянтами с различным содержанием ионогенных групп (рис. 4) показывает увеличение флокулирующей активности в ряду КП₃ → КП₂ → КП₁. Полиэлектролит с высоким содержанием ионогенных групп, лучше других адсорбирующийся на поверхности каолина, наименее эффективен как флокулянт.

При обсуждении вопроса о влиянии низкомолекулярного электролита на флокулирующую способность полимера необходимо учитывать два фактора. С одной стороны, присутствие электролита в дисперсной системе приводит к сжатию двойного электрического слоя и уменьшению дзета-потенциала частиц, что способствует снижению агрегативной устойчивости дисперсии и улучшает флокуляцию. С другой стороны, в растворах соли макромолекулы полиэлектролита переходят в «свернутое» конформационное состояние за счет экранирования зарядов полиионов и уменьшения электростатического отталкивания между ними.

Как видно из рис. 5, при концентрации полимера в дисперсии 0,05 мг/г показатель D (эффективность флокуляции дисперсной фазы в солевой среде по отношению к воде) увеличивается для КП₁ и КП₂ во всем исследуемом диапазоне концентраций электролита, для КП₃ начинает

экранировании заряда полимерной цепи противоионами тем больше, чем выше степень ионизации полиэлектролита [11, 12].

Расчет эффективных размеров клубков макромолекул полимеров в водных и солевых растворах (концентрация NaCl 0,2 М) и степени изменения данного показателя (S) при переходе от водных растворов к солевым (отношение значений эффективного объема макромолекул в воде и растворе соли) показал, что макромолекулы неионогенного полимера в меньшей степени глобулизируются в присутствии соли по сравнению с полиэлектролитами (рис. 3). В связи с тем что степень полимеризации сополимеров акриламида различного состава остается неизменной, уменьшение размеров макромолекул полиэлектролитов в солевой среде обусловлено конформационным переходом от полимерного клубка к глобуле [13].

Адсорбированные макромолекулы не располагаются на поверхности плоско: часть длинных цепей в виде «петель» и «хвостов», направленных в окружающую жидкость, формирует адсорбционный слой вокруг частиц. При сближении частиц и взаимодействии макромолекул, адсорбированных на разных частицах, условно возможны два варианта: эффект «смещения» – взаимное проникновение адсорбционных слоев и эффект «сжатия» – деформация адсорбированных полимерных цепей без их перекрывания [2, 14].

Увеличение количества контактов макромолекул и частиц и уменьшение про-

увеличиваться при концентрации соли выше 0,05 М. Некоторое понижение показателя D в области низких концентраций соли для КП₃ обусловлено преобладающим влиянием электролита на размер клубков. В связи с относительно низким содержанием ионогенных групп макромолекулы КП₁ остаются более развернутыми в солевой среде, что способствует флокуляции.

Исследование влияния ПАВ_А на флокулирующую способность катионного флокулянта КП₁ проводили по следующим схемам: обработка суспензии приготовленной смесью КП₁ и ПАВ_А (1); последовательная обработка суспензии ПАВ_А, затем флокулянтом (2).

Зависимость скорости осаждения суспензии, обработанной смесью КП и ПАВ (схема 1), от количества флокулянта проявляется различным образом в водной и солевой средах. В воде при концентрации флокулянта 0,05 мг/г и выше, соответствующей области стабилизации суспензии, введение смеси полимера и ПАВ любого типа практически не влияет на флокуляцию.

Предварительное введение ПАВ_А в водную и солевую дисперсии по схеме 2 приводит к повышению эффективности флокуляции на 10–12 % благодаря взаимодействию компонентов на поверхности частиц. Показано, что введение в систему более низких доз флокулянта (0,02 мг/г дисперсной фазы) в смеси с ПАВ неионогенного или анионного типов приводит к увеличению скорости осаждения суспензии каолина на 15–20 %. Наблюдаемый эффект можно объяснить тем, что при относительно невысоком содержании компонентов в дисперсии их взаимодействие приводит к снижению адсорбции полимера, что способствует процессу флокуляции.

Выводы. Показано, что адсорбция катионных полиэлектролитов на основе сополимеров акриламида в водных дисперсиях каолина увеличивается, а флокулирующая способность уменьшается с ростом содержания ионогенных функциональных групп полимера. Присутствие низкомолекулярного электролита в дисперсной системе приводит к снижению адсорбции катионного полиэлектролита и улучшает флокуляцию; при этом характер зависимости адсорбции и эффективности флокуляции от количества ионогенных групп полиэлектролита сохраняется.

При введении смеси катионного полиэлектролита и анионного ПАВ в дисперсию при концентрациях полимера, оптимальных для флокуляции, скорость осаждения дисперсной фазы увеличивается на 15–20 %. Предварительная обработка дисперсии каолина ПАВ того же типа увеличивает эффективность флокуляции на 10–12 %. Полученные результаты, свидетельствующие о повышении эффективности флокуляции при использовании низкозарядных катионных флокулянтов и сохранении их флокулирующей активности в присутствии электролитов и ПАВ, имеют значение при обсуждении практических вопросов, в частности очистки сточных вод.

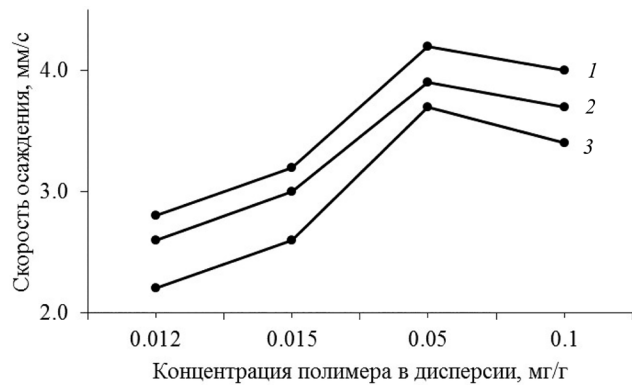


Рис. 4. Скорость осаждения водной дисперсии каолина КП₁ (1), КП₂ (2), КП₃ (3)

Fig. 4. The deposition rate of an aqueous dispersion of kaolin CP₁ (1), CP₂ (2), CP₃ (3)

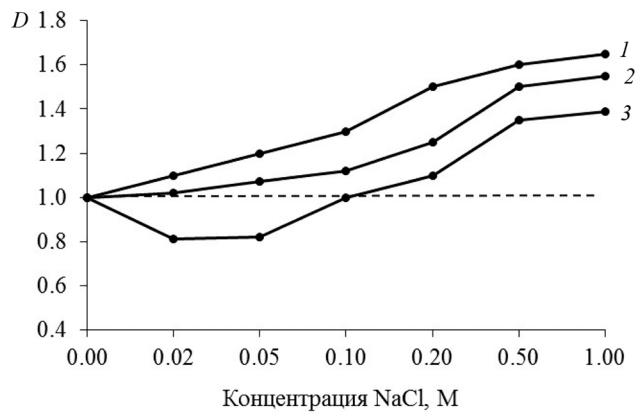


Рис. 5. Эффективность флокуляции (D) солевой дисперсии каолина КП₁ (1), КП₂ (2), КП₃ (3) в зависимости от концентрации соли

Fig. 5. The flocculation efficiency (D) of the salt dispersion of kaolin CP₁ (1), CP₂ (2), CP₃ (3) depending on the salt concentration

Список использованных источников

1. Барань, Ш. Кинетика и механизм флокуляции суспензий бентонита и каолина полиэлектролитами и прочность образующихся флокул / Ш. Барань, Р. Месарош, И. Козакова, И. Шкварла // Коллоид. журн. – 2009. – Т. 71, № 3. – С. 285–292.
2. Холмберг, К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Йёнссон, Б. Кронберг, Б. Линдман. – М.: Бином. лаб. знаний, 2002. – 545 с.
3. Последовательная адсорбция полиакриламидных соединений из растворов электролитов на поверхности частиц каолиновой глины / П. Д. Воробьев [и др.] // Коллоид. журн. – 2008. – Т. 70, № 2. – С. 148–151.
4. Bolto, B. Organic polyelectrolytes in water treatment / B. Bolto, J. Gregory // *Water research*. – 2007. – Vol. 41. – P. 2301–2324. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.012>
5. Особенности формирования флокул и осадков в присутствии бинарной смеси полиэлектролитов / С. С. Дрябина [и др.] // Журн. прикл. химии. – 2005. – Т. 78, № 7. – С. 1149–1153.
6. Практикум по высокомолекулярным соединениям / под ред. В. А. Кабанова. – М.: Химия, 1985. – 223 с.
7. Барань, Ш. Взаимодействие высокомолекулярных флокулянтов с ионогенными поверхностно-активными веществами / Ш. Барань // Коллоид. журн. – 2002. – Т. 64, № 5. – С. 591–595.
8. Бектуров, Е. А. Ассоциация полимеров с малыми молекулами / Е. А. Бектуров, Р. Е. Легкунец. – Алма-Ата, 1983. – 285 с.
9. Панарин, Е. Ф. Биологическая активность синтетических полиэлектролитных комплексов ионогенных поверхностно-активных веществ / Е. Ф. Панарин, В. В. Копейкин // Высокомолекулярные соединения. Серия С. – 2002. – Т. 44, № 12. – С. 2340–2351.
10. Формирование флокул и осадков в присутствии катионных полиэлектролитов / С. С. Дрябина [и др.] // Коллоид. журн. – 2003. – Т. 65, № 3. – С. 335–340.
11. Ghimici, L. Behavior of cationic polyelectrolytes upon binding of electrolytes: Effects of polycation structure, counterions and nature of the solvent / L. Ghimici, S. Dragan // *Colloid and Polymer Science*. – 2002. – Vol. 280, N 2. – P. 130–134. <https://doi.org/10.1007/s003960100575>
12. Мягченков, В. А. Синергизм действия ионогенных сополимеров акриламида и электролита (NaCl) при флокуляции охры в режиме нестесненного оседания / В. А. Мягченков, В. Е. Проскурина // Журн. прикл. химии. – 2000. – Т. 73, № 6. – С. 1007–1010.
13. Гроссберг А.Ю. Некоторые вопросы статистической физики полимерных глобул: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.02. – М., 1975. – 20 с.
14. Чураев, Н. В. Поверхностные силы и физикохимия поверхностных явлений / Н. В. Чураев // Успехи химии. – 2004. – Т. 73, № 1. – С. 26–38.

References

1. Baran Sh., Mesarosh R., Kozakova I., Shkvarla I. Kinetics and flocculation mechanism of bentonite and kaolin suspensions by polyelectrolytes and the strength of the resulting flocs. *Colloid Journal*, 2009, vol. 71, no. 3, pp. 285–292. [10.1134/S1061933X09030016](https://doi.org/10.1134/S1061933X09030016)
2. Holmberg K., Jönsson B., Kronberg B., Lindman B. *Surfactants and polymers in aqueous solutions*. John Wiley & Sons, Ltd, 2002. 545 p. <https://doi.org/10.1002/0470856424>
3. Vorob'ev P. D., Krut'ko N. P., Vorob'eva E. V., Strnadova N. Successive adsorption of polyacrylamide compounds from electrolyte solutions on the surface of kaolinitic clay particles. *Colloid Journal*, 2008, vol. 70, no. 2, pp. 148–151. <https://doi.org/10.1134/s1061933x08020051>
4. Bolto B., Gregory J. Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water research*, 2007, vol. 41, pp. 2301–2324. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.012>
5. Dryabina S. S., Malysheva Zh. N., Navrotskii A. V., Moharam R., Novakov I. A. Flocculation and precipitation in the presence of binary polyelectrolytes. *Russian Journal of Applied chemistry*, 2005, vol. 78, no. 7, pp. 1149–1153. <https://doi.org/10.1007/s11167-005-0468-8>
6. Kabanova V. A. (ed.) *Workshop on macromolecular compounds*. Moscow, Khimiya Publ., 1985. 223 p. (in Russian)
7. Baran Sh. Interaction of high molecular weight flocculants with ionogenic surfactants. *Colloid Journal*, 2002, vol. 64, no. 5, pp. 591–595 (in Russian).
8. Bekturov E. A., Legkunets R. E. *Association of polymers with small molecules*. – Alma-Ata, 1983, 285 p. (in Russian)
9. Panarin E. F., Kopeikin V. V. Biological activity of synthetic polyelectrolyte complexes of ionic surfactants. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya C = Polymer Science. Series C*, 2002, vol. 44, no. 12, pp. 2340–2351 (in Russian).
10. Navrotskii A. V., Dryabina S. S., Malysheva J. N., Novakov I. A. Formation of flocs and sediments in the presence of cationic polyelectrolytes. *Colloid Journal*, 2003, vol. 65, no. 3, pp. 335–340. <https://doi.org/10.1023/a:1024210907581>
11. Ghimici L., Dragan S. Behavior of cationic polyelectrolytes upon binding of electrolytes: Effects of polycation structure, counterions and nature of the solvent // *Colloid and Polymer Science*, 2002, vol. 280, no. 2, pp. 130–134. <https://doi.org/10.1007/s003960100575>

12. Myagchenkov V. A., Proskurina V. E. Synergism of the action of ionic copolymers of acrylamide and electrolyte (NaCl) during ocher flocculation in the mode of unrestrained sedimentation. *Zhurnal prikladnoi khimii = Russian Journal of Applied Chemistry*, 2000, vol. 73, no. 6, pp. 1007–1010 (in Russian).

13. Grossberg A. Yu. Some questions of statistical physics of polymer globules. Moscow, 1975. 20 p. (in Russian).

14. Churaev N. V. Surface for cesand physical chemistry of surface phenomena. *Uspekhi Khimii = Russian Chemical Reviews*, 2004, vol. 73, no. 1, pp. 26–38 (in Russian).

Информация об авторах

Воробьев Павел Дмитриевич – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: pdvc@tut.by

Буча Светлана Васильевна – науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: bucha1003@gmail.com

Липай Юлия Владимировна – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: yuliya.M@tut.by

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

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

Inforvation about the authors

Pavel D. Vorobiev – Ph. D. (Chemistry), Leading Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pdvc@tut.by

Sviatlana V. Bucha – Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bucha1003@gmail.com

Yuliya V. Lipai – Ph. D. (Chemistry), Senior Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yuliya.M@tut.by

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

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