

ИЗУЧЕНИЕ ФЛОККУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАСТВОРОВ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-N,N-ДИАЛЛИЛ-N,N-ДИМЕТИЛАММОНИЙ ХЛОРИДА И ПОЛИСАХАРИДОВ

© М. В. Базунова*, А. А. Базунова, А. Р. Мустакимов

Башкирский государственный университет

Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.

Тел.: +7 (347) 229 97 24.

*Email: mbazunova@mail.ru

Исследованы условия получения водорастворимых полиэлектролитных комплексов поли-N,N-диаллил-N,N-диметиламмоний хлорида и карбоксиметилцеллюлозы или сукцината хитозана и изучена их флокулирующая способность. Флокулирующая способность по отношению к 0.1%-й суспензии диоксида кремния растворов комплексов является более эффективной по сравнению с растворами исходными полиэлектролитов той же концентрации. Установлено, что уменьшение оптической плотности верхнего слоя дисперсии в присутствии полимерных систем по истечении 3 ч отстаивания составляет 78–80%, тогда как в присутствии индивидуальных полимеров этот показатель составляет 67 и 60% соответственно. При флокуляции 0.1%-й суспензии диоксида кремния в присутствии комплексов с z от 0.1 до 0.3 образующийся осадок имеет больший размер флоккул, чем в присутствии индивидуальных полиэлектролитов.

Ключевые слова: нестехиометрические полиэлектролитные комплексы, поли-N,N-диаллил-N,N-диметиламмоний хлорид, сукцинат хитозана, карбоксиметилцеллюлоза, силикагель, флокуляция.

Введение

Известно, что преимуществом практического применения полиэлектролитных комплексов (ПЭК) по сравнению с индивидуальными полиэлектролитами является возможность управления характеристиками комплексов в широких пределах. Так, при синтезе ПЭК из одних и тех же исходных полимеров могут быть получены сильно различающиеся по свойствам материалы с уникальным набором физико-химических, коллоидных, механических и других эксплуатационных свойств, которых не было у исходных компонентов [1].

В связи с этим в настоящее время ПЭК находят применения в нанотехнологии, биотехнологии, в производстве биоматериалов (например, гемосорбентов) и косметических средств, пенообразователей, селективных мембран, для очистки сточных вод [2].

В развитии промышленных технологий, основанных на использовании синтетических полимеров и их смесей как в качестве эффективных флокулянтов, так и наоборот, стабилизаторов, особенно важны вопросы влияния полимеров и их смесей, в т.ч. и водорастворимых ПЭК, на агрегативную и седиментационную устойчивость лиофильных коллоидных дисперсий [3]. Использование в таком качестве смесей полимеров, в т.ч. и ПЭК, в ряде случаев позволяет добиться более высоких технологических показателей процессов флокуляции или стабилизации дисперсий, чем использование индивидуальных полимеров [4–6].

При создании ПЭК целесообразно использование производных полисахаридов полиэлектро-

литной природы, т.к. благодаря наличию функциональных групп они способны образовывать полимерные комплексы с различными типами связей между компонентами (водородных, солевых, гидрофобных), что, в свою очередь, позволяет регулировать физико-химические и медико-биологические свойства получаемых материалов [7].

В данной работе при создании ПЭК использованы такие полианионные водорастворимые полисахариды, как карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) и натриевая соль сукцината хитозана (СХТЗ) и поликатион поли-N,N-диаллил-N,N-диметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ).

Целью работы является исследование флокулирующей способности нестехиометричных водорастворимых ПЭК на основе ПДАДМАХ и КМЦ или СХТЗ по отношению к дисперсии диоксида кремния.

Экспериментальная часть

Для формирования ПЭК использованы следующие полиэлектролиты:

- Раствор ПДАДМАХ марки ВПК-402 (ТУ 2227-184-00203312-2012 с изм. №1) очищенный, М.м.=200 000, АО БСК (Россия, Стерлитамак).

- КМЦ марки «Бланоза СМС 7НОF РН» со степенью замещения 80–95% и молекулярной массой 260 000 производства «Ashland» (США).

- СХТЗ с молекулярной массой 67 000 а.е.м. (ТУ 9284-027-11734126-08) производства ЗАО «Биопрогресс» (г. Щелково).

Для получения ПЭК образцы полиэлектролитов КМЦ или СХТЗ и ПДАДМАХ растворяли в

дистиллированной воде при различных концентрациях (0.02–0.2%) и смешивали в различных мольных соотношениях. Растворы смесей выдерживали при температуре 25 °С на магнитной мешалке с интенсивностью перемешивания 500 об/мин в течение 1 мин. Состав реакционной смеси выражали через мольное соотношение z:

$$z = \frac{[\text{полимер 1}] \cdot V_{\text{полимер 1}}}{[\text{полимер 2}] \cdot V_{\text{полимер 2}}}$$

где [полимер 1, 2] – молярная концентрация ионогенных звеньев КМЦ или СХТЗ и ПДАДМАХ, $V_{\text{полимер 1, 2}}$ – объемы растворов соответствующих полимеров.

Изучение флокулирующей способности растворов ПЭК на основе ПДАДМАХ и КМЦ (СХТЗ) проводили по следующей методике: мерные цилиндры или пробирки (7–10 шт.) наполняли 20 мл однородной взвеси диоксида кремния (силикагеля) с размером частиц 800–900 нм и перемешивали с 5 мл раствора флокулянта. Параллельно использовалась система сравнения, представляющая собой дисперсию силикагеля без добавления флокулянта. Мерные цилиндры (пробирки) встряхивали до тех пор, пока не образовывались хлопья, и устанавливали в штатив. Происходила седиментация, выделялся осадок и осветлялся верхний слой дисперсии. Данный верхний слой из первого цилиндра (пробирки) в количестве 3.5 мл отбирали через 0.5 ч от начала седиментации и анализировали на фотоэлектроколориметре для определения оптической плотности. Из второго цилиндра (пробирки) осветленный верхний слой отбирается через 1 ч, из третьего – через 1.5 ч и так далее.

Измерение оптической плотности растворов и дисперсий проводили на фотоэлектроколориметре КФК-2 (Россия) с толщиной поглощающего слоя 1 см в диапазоне длин волн от 364 до 590 нм, при котором все компоненты оптически прозрачны.

Определение размеров частиц флокулов проводили методом спектра мутности [8].

Обсуждение результатов

В настоящее время для регулирования агрегативной и седиментационной устойчивости коллоидных систем широко применяются различные высокомолекулярные соединения, в т.ч. ПЭК.

Ранее [9] определены условия существования водорастворимых нестехиометричных ПЭК для систем ПДАДМАХ/КМЦ и ПДАДМАХ/СХТЗ, что позволяет определить области их применения и разработать способы получения различных материалов на их основе. В связи с этим предпринята попытка изучения возможности использования полученных ПЭК в качестве флокулянтов неорганических дисперсий.

Флокулирующее действие растворов индивидуальных полимеров и их смесей зависит от таких факторов, как природа веществ-флокулянтов, их

доза, молекулярная масса, концентрация дисперсной фазы и условия внесения флокулянта [10–11]. Таким образом, флокуляция неорганических суспензий полимерами – многофакторный процесс, оптимизация которого требует кропотливых и длительных исследований.

В данной работе исследовано влияние мольного соотношения компонентов (а, следовательно, заряда) на флокулирующую способность ПЭК на основе ПДАДМАХ и КМЦ или СХТЗ. В качестве модельной дисперсии использована 0.01%-я дисперсия диоксида кремния. Флокулирующая способность оценена по осветлению верхнего слоя дисперсии при седиментации.

На рис. 1 и 2 представлены данные по зависимости оптической плотности верхнего слоя 0.1%-й дисперсии силикагеля в присутствии индивидуальных полимеров или ПЭК ПДАДМАХ/КМЦ от времени т.

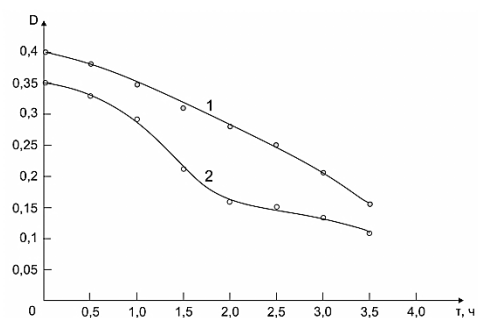


Рис. 1. Зависимость оптической плотности верхнего слоя 0.1 %-й дисперсии силикагеля в присутствии 0.05% КМЦ (1), 0.05% ПДАДМАХ (2) от времени седиментации.

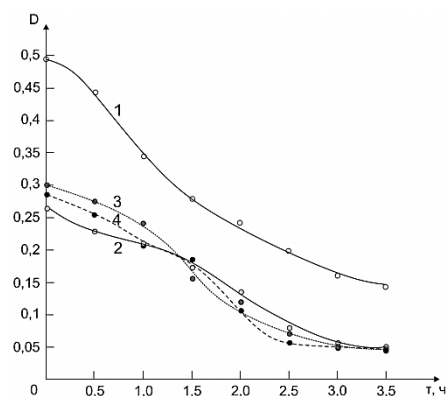


Рис. 2. Зависимость оптической плотности верхнего слоя 0.1%-й дисперсии силикагеля в присутствии ПДАДМАХ/КМЦ (исходная концентрация компонентов 0.05%) при z = 0.1(1), 0.2(2), 0.3(3), 0.4 (4) от времени седиментации.

Установлено, что использование для флокуляции частиц диоксида кремния растворов ПЭК ПДАДМАХ/КМЦ с мольным соотношением компонентов от 1:10 до 4:10 и исходной концентрацией полиэлектролитов 0.05% является более эффективным по сравнению с исходными полимерами той же концентрации. Так, уменьшение оптической плотности верхнего слоя дисперсии в присутствии

ПЭК ПДАДМАХ/КМЦ по истечении 3 ч достигает 80–85%, тогда как в присутствии индивидуальных ПДАДМАХ и КМЦ этот показатель составляет 67 и 60% соответственно. Этот эффект можно объяснить интерполимерным взаимодействием в водных растворах противоположно-заряженных исходных макромолекул ПЭК и изменением суммарного заряда образовавшихся ПЭК.

Аналогичные выводы можно сделать и по системам ПДАДМАХ/СХТЗ (рис. 3–6). Уменьшение оптической плотности верхнего слоя дисперсии диоксида кремния в присутствии раствора системы ПДАДМАХ/СХТЗ по истечении 3 ч составляет 80–85%, тогда как в присутствии индивидуального СХТЗ этот показатель составляет 60%.

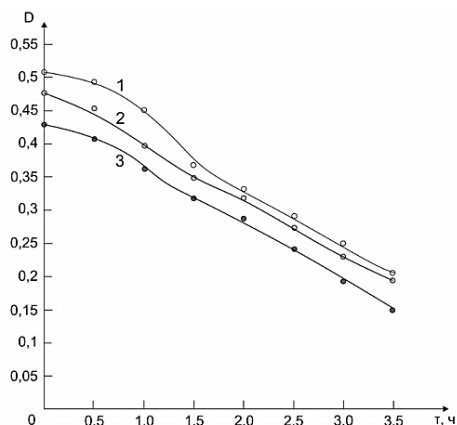


Рис. 3. Зависимость оптической плотности верхнего слоя 0.1%-й дисперсии силикагеля в присутствии СХТЗ концентрацией 0.01% (1), 0.02% (2) и 0.05% (3) от времени седиментации.

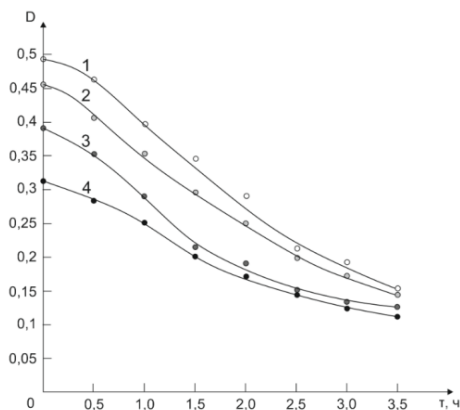


Рис. 4. Зависимость оптической плотности верхнего слоя 0,1 %-й дисперсии силикагеля в присутствии ПДАДМАХ/СХТЗ (исходная концентрация компонентов 0.02 %, мольное соотношение $z = 0.1(1), 0.2(2), 0.3(3), 0.4(4)$) от времени седиментации.

В табл. 1 представлена зависимость средних размеров частиц дисперсии диоксида кремния как в присутствии растворов ПЭК ПДАДМАХ/КМЦ с различным мольным соотношением, так и в при-

сутствии растворов индивидуальных ПДАДМАХ и КМЦ от времени седиментации.

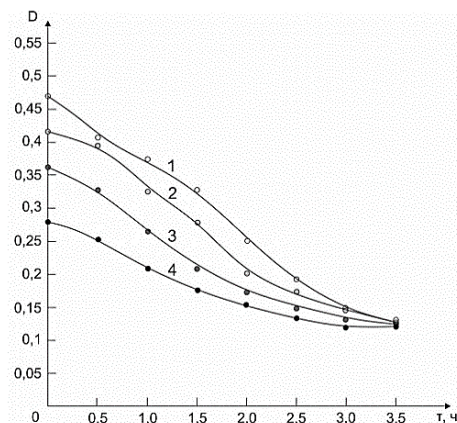


Рис. 5. Зависимость оптической плотности верхнего 0.1%-й дисперсии силикагеля в присутствии комплексов ПДАДМАХ/СХТЗ (исходная концентрация компонентов 0.02%, мольное соотношение $z = 0.1(1), 0.2(2), 0.3(3), 0.4(4)$) от времени седиментации.

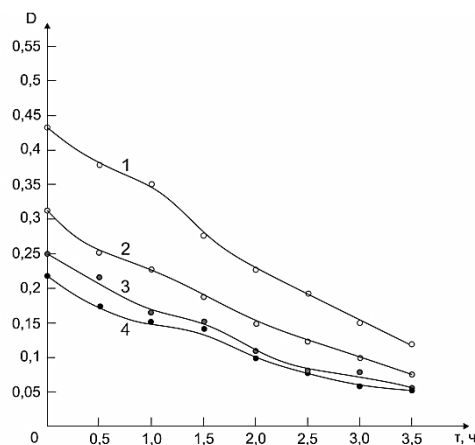


Рис. 6. Зависимость оптической плотности верхнего слоя 0.1%-й дисперсии силикагеля в присутствии ПДАДМАХ/СХТЗ (исходная концентрация компонентов 0.05%, мольное соотношение $z = 0.1(1), 0.2(2), 0.3(3), 0.4(4)$) от времени седиментации.

Согласно представленным данным, в присутствии ПЭК ПДАДМАХ/КМЦ с z от 0.1 до 0.3 образующиеся флоккулы имеют большие размеры (1400–2200 нм), чем в присутствии индивидуальных ПДАДМАХ и КМЦ (1300–1800 нм), что свидетельствует о более эффективной адсорбции ПЭК на частицах диоксида кремния и образовании мостиков между отдельными группами частиц.

Аналогичная картина наблюдается и в случае использования для флокуляции дисперсии диоксида кремния систем ПДАДМАХ/СХТЗ с z от 0.1 до 0.3 (табл. 2–4).

Таблица 1

Зависимость размеров частиц 0.1%-й дисперсии силикагеля как в присутствии растворов комплексов ПДАДМАХ- КМЦ с различным мольным соотношением z, так и в присутствии растворов индивидуальных ПДАДМАХ или КМЦ от времени седиментации τ (исходная концентрация полимеров 0.05%)

| τ , ч | r, нм для частиц дисперсии в присутствии комплексов ПДАДМАХ и КМЦ | | | | r, нм для частиц дисперсии в присутствии индивидуальных ПДАДМАХ или КМЦ | |
|------------|-------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|-------------------------------------------------------------------------|---------|
| | Z=0.1 | Z=0.2 | Z=0.3 | Z=0.4 | КМЦ | ПДАДМАХ |
| 0 | 1420.6 | 1587.6 | 1620.6 | 1587.6 | 1520.6 | 1588.6 |
| 0.5 | 1434.5 | 1696.8 | 1781.9 | 1572.8 | 1665.9 | 1628.1 |
| 1.0 | 1881.9 | 1699.7 | 1811.6 | 1665.9 | 1650.5 | 1712.7 |
| 1.5 | 1789.3 | 1789.3 | 1881.8 | 1820.1 | 1712.7 | 1804.7 |
| 2.0 | 2036.1 | 1881.7 | 1912.6 | 1804.7 | 1758.5 | 1835.6 |
| 2.5 | 2097.8 | 2005.2 | 1943.6 | 1827.1 | 1712.2 | 1851.0 |
| 3.0 | 2099.1 | 2111.5 | 2035.1 | 1872.8 | 1781.4 | 1866.4 |
| 3.5 | 2190.3 | 2128.7 | 2205.9 | 1881.9 | 1782.5 | 1881.1 |

Примечания:

1. Размер частиц силикагеля 800–900 нм.
2. Размер надмолекулярных образований растворов концентрацией 0.05 % в случае ПДАДМАХ порядка 220 нм, КМЦ – 260 нм.

Таблица 2

Зависимость размеров частиц 0.1%-й дисперсии силикагеля как в присутствии растворов комплексов ПДАДМАХ/СХТЗ с различным мольным соотношением z, так и в присутствии растворов индивидуальных ПДАДМАХ или СХТЗ от времени седиментации τ (исходная концентрация полимеров 0.01%)

| τ , ч | r, нм для частиц дисперсии в присутствии комплексов ПДАДМАХ и СХТЗ | | | | r, нм для частиц дисперсии в присутствии индивидуальных ПДАДМАХ или СХТЗ | |
|------------|--------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| | Z=0.1 | Z=0.2 | Z=0.3 | Z=0.4 | КМЦ | СХТЗ |
| 0 | 1220.6 | 1487.8 | 1520.3 | 1487.1 | 1120.6 | 1188.4 |
| 0.5 | 1372.8 | 1534.4 | 1665.9 | 1516.2 | 1165.9 | 1228.1 |
| 1.0 | 1434.5 | 1920.1 | 1758.4 | 1674.7 | 1250.5 | 1412.7 |
| 1.5 | 1527.0 | 1881.8 | 1881.8 | 1820.0 | 1412.7 | 1504.9 |
| 2.0 | 1789.3 | 1912.7 | 1881.1 | 1817.3 | 1458.5 | 1535.6 |
| 2.5 | 1696.7 | 1922.6 | 1912.7 | 1527.0 | 1512.2 | 1651.0 |
| 3.0 | 1844.6 | 2036.1 | 1927.0 | 1629.0 | 1581.1 | 1666.4 |
| 3.5 | 1983.1 | 2097.8 | 2205.7 | 1983.1 | 1782.7 | 1781.2 |

Примечание: Размер надмолекулярных образований растворов концентрацией 0.01% в случае ПДАДМАХ порядка 120 нм, СХТЗ – 340 нм.

Таблица 3

Зависимость размеров частиц 0.1%-й дисперсии силикагеля как в присутствии растворов комплексов ПДАДМАХ/СХТЗ с различным мольным соотношением z, так и в присутствии растворов индивидуальных ПДАДМАХ и СХТЗ от времени седиментации τ (исходная концентрация полимеров 0.02%)

| τ , ч | r, нм для частиц дисперсии в присутствии комплексов ПДАДМАХ и СХТЗ | | | | r, нм для частиц дисперсии в присутствии индивидуальных ПДАДМАХ или СХТЗ | |
|------------|--------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| | Z=0.1 | Z=0.2 | Z=0.3 | Z=0.4 | КМЦ | СХТЗ |
| 0 | 1280.8 | 1489.8 | 1550.3 | 1487.9 | 1190.7 | 1288.5 |
| 0.5 | 1417.2 | 1844.6 | 1629.4 | 1696.7 | 1165.9 | 1228.1 |
| 1.0 | 1406.4 | 1920.1 | 1789.3 | 1922.6 | 1250.5 | 1412.7 |
| 1.5 | 1515.5 | 1983.1 | 1696.7 | 1881.8 | 1442.7 | 1504.9 |
| 2.0 | 1837.8 | 2001.3 | 1881.8 | 1820.0 | 1458.5 | 1535.7 |
| 2.5 | 1789.3 | 2005.6 | 2055.5 | 1729.0 | 1512.2 | 1651.0 |
| 3.0 | 1922.6 | 2036.1 | 2036.1 | 1837.8 | 1681.4 | 1766.4 |
| 3.5 | 2003.17 | 2190.3 | 2290.3 | 1920.1 | 1782.7 | 1781.2 |

Примечание: Размер надмолекулярных образований растворов концентрацией 0.02% в случае ПДАДМАХ порядка 140 нм, СХТЗ – 370 нм.

Зависимость размеров частиц 0.1%-й дисперсии силикагеля как в присутствии растворов комплексов ПДАДМАХ/СХТЗ с различным мольным соотношением z, так и в присутствии растворов индивидуальных ПДАДМАХ или СХТЗ от времени седиментации τ (исходная концентрация полимеров 0.05%)

| $\tau, \text{ч}$ | r, нм для частиц дисперсии в присутствии комплексов ПДАДМАХ и СХТЗ | | | | r, нм для частиц дисперсии в присутствии индивидуальных ПДАДМАХ или СХТЗ | |
|------------------|--------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| | Z=0.1 | Z=0.2 | Z=0.3 | Z=0.4 | КМЦ | СХТЗ |
| 0 | 1299.8 | 1509.6 | 1550.7 | 1387.1 | 1195.7 | 1298.4 |
| 0.5 | 1690.3 | 1532.1 | 1769.4 | 1712.1 | 1265.9 | 1328.1 |
| 1.0 | 1881.8 | 1607.5 | 1789.7 | 1665.9 | 1350.6 | 1412.7 |
| 1.5 | 2097.8 | 1657.2 | 1778.3 | 1820.1 | 1442.7 | 1504.9 |
| 2.0 | 2036.1 | 1729.0 | 2000.7 | 1804.7 | 1458.5 | 1535.7 |
| 2.5 | 2034.5 | 2055.5 | 2051.4 | 1820.1 | 1512.2 | 1651.0 |
| 3.0 | 2096.7 | 1884.8 | 2167.2 | 1804.7 | 1681.4 | 1766.4 |
| 3.5 | 2003.1 | 2190.3 | 2290.3 | 1820.1 | 1742.8 | 1791.3 |

Примечание: Размер надмолекулярных образований растворов концентрацией 0.02 % в случае ПДАДМАХ порядка 170 нм, СХТЗ 390 нм.

Таким образом, варьирование состава полиэлектролитных комплексов на основе ПДАДМАХ и КМЦ или СХТЗ позволяет целенаправленно изменять их флокулирующую способность по отношению к дисперсиям некоторых неорганических веществ.

Выводы

1. Установлено, что использование для флокуляции частиц диоксида кремния растворов ПЭК ПДАДМАХ/КМЦ с мольным соотношением компонентов от 1:10 до 4:10 и исходной концентрацией полиэлектролитов 0.05% является более эффективным по сравнению с исходными полиэлектролитами той же концентрации. Так, падение оптической плотности верхнего слоя дисперсии в присутствии системы ПДАДМАХ/КМЦ по истечении 3 ч отстаивания достигает 80–85%, тогда как в присутствии растворов индивидуальных ПДАДМАХ и КМЦ этот показатель составляет 67 и 60% соответственно. Уменьшение оптической плотности верхнего слоя дисперсии диоксида кремния в присутствии системы ПДАДМАХ/СХТЗ по истечении 3 ч отстаивания составляет 80–85%, тогда как в присутствии раствора индивидуального СХТЗ этот показатель составляет 60%.

2. При флокуляции 0.1%-й суспензии диоксида кремния в присутствии растворов ПЭК ПДАДМАХ/КМЦ с мольным соотношением компонентов от 0.1 до 0.3 образующиеся флокулы имеют большие размеры частиц (1400–2200 нм), чем в присутствии растворов индивидуальных ПДАДМАХ и КМЦ (1300–1800 нм). Аналогичная картина наблюдается и для системы ПДАДМАХ/СХТЗ.

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ, договор №20-33-90069/20.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабанов В. А. Полиэлектролитные комплексы в растворе и в конденсированной фазе // Успехи химии. 2005. Т. 74. №1. С. 5–23.
2. Воробьева Е. В., Крутько Н. П. Полимерные комплексы в водных и солевых средах. Минск: Белорусская наука, 2010. 176 с.
3. Рафикова Г. М., Бабунова М. В., Бабунов А. А. Влияние молекулярной массы хитозана на устойчивость полимер-коллоидных дисперсий хитозан-золь AgI // Вестник Технологич. ун-та. 2019. Т. 22. №3. С. 84–88.
4. Аксенов В. И., Аникин Ю. В., Галкин Ю. А., Ничкова И. И., Ушакова Л. И., Царев Н. С. Применение флокулянтов в системах водного хозяйства: учеб. пос. Екатеринбург, 2008. 147 с.
5. Кудряшов Н. М., Муллер В. М., Ванаев С. Ф. Изучение коагулирующего действия катионоактивных веществ и их влияние на электрокинетический потенциал красного гидрозола золота // Коллоидный журнал. 1978. №3. С. 463.
6. Епифанцев Б. Н., Толмачева Н. А. Эффективность контура управления дозой флокулянта на станциях водоподготовки. ВСТ // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. №2. С. 21.
7. Скрябин К. Г., Вихорева Г. А., Варламов В. П. Хитин и хитозан: Получение, свойства и применение. М.: Наука, 2002. 368 с.
8. Кленин В. И., Щеголев С. Ю., Лаврушин В. И. Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем. Саратов: изд-во Саратов. ун-та, 1977. 176 с.
9. Бакирова Э. Р., Бабунова М. В., Бабунов А. А., Мустакимов Р. А. Изучения условий формирования и свойств полиэлектролитных комплексов на основе карбоксиметилцеллюлозы и полидиаллилдиметиламмоний хлорида // Вестник Технологич. ун-та. 2019. Т. 22. №9. С. 41–45.
10. Новаков И. А., Дрябина С. С., Малышева Ж. Н., Навроцкий А. В., Купцов А. В. Закономерности флокуляции водных каолиновых дисперсий бинарными композициями катионных полиэлектролитов // Коллоидный журнал. 2009. Т. 71. №1. С. 94–100.
11. Бабенков Е. Д. Очистка воды коагулянтами. М.: Наука, 1977. 355 с.

Поступила в редакцию 20.02.2021 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.3.26

**STUDY OF THE FLOCCULATING ABILITY OF SOLUTIONS
OF POLYELECTROLYTE COMPLEXES BASED ON POLY-N,N-DIALLYL-
N,N-DIMETHYLAMMONIUM CHLORIDE AND POLYSACCHARIDES**

© M. V. Bazunova*, A. A. Bazunova, R. A. Mustakimov

*Bashkir State University
32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

Phone: +7 (347) 229 97 24.

**Email: mbazunova@mail.ru*

The conditions for the preparation of nonstoichiometric water-soluble polyelectrolyte complexes based on poly-N,N-diallyl-N,N-dimethylammonium chloride and carboxymethylcellulose or chitosan succinate were studied, as well as flocculating ability of the substances. It is shown that with an increase in the concentration of the initial polymer solutions from 0.01 to 0.1%, the range of molar ratios at which water-soluble polyelectrolyte complexes can be obtained narrows. It was found that the flocculating ability with respect to a 0.1% suspension of silica gel of polymer complexes with a molar ratio of the complex components (z) from 1:10 to 4:10 and the concentration of the initial component of 0.05% is more effective than the initial polymers of the same concentration. Thus, the drop in the optical density of the upper layer of the dispersion in the presence of polymer systems after 3 hours is 78–80%, while in the presence of the polymers the values were 67% and 60%, respectively. Upon flocculation of a 0.1% suspension of silica gel in the presence of complexes with z from 0.1 to 0.3, the resulting precipitate is characterized by a larger particle size than in the presence of individual polymers, which indicates a more efficient adsorption of polyelectrolyte complexes on particles of the solid phase of the treated disperse system and the formation of bridges between individual groups of particles.

Keywords: nonstoichiometric polyelectrolyte complexes, poly-N,N-diallyl-N,N-dimethylammonium chloride, chitosan succinate, carboxymethylcellulose, silica gel, flocculation.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Kabanov V. A. *Uspekhi khimii*. 2005. Vol. 74. No. 1. Pp. 5–23.
2. Vorob'eva E. V., Krut'ko N. P. *Polimernye komplekсы v vodnykh i solevykh sredakh* [Polymer complexes in aqueous and salt media]. Minsk: Belorusskaya nauka, 2010.
3. Rafikova G. M., Bazunova M. V., Bazunov A. A. *Vestnik Tekhnologich. un-ta*. 2019. Vol. 22. No. 3. Pp. 84–88.
4. Aksenov V. I., Anikin Yu. V., Galkin Yu. A., Nichkova I. I., Ushakova L. I., Tsarev N. S. *Primenenie flokulyantov v sistemakh vodnogo khozyaistva: ucheb. pos.* [The use of flocculants in water management systems: textbook]. Ekaterinburg, 2008.
5. Kudryashov H. M., Muller B. M., Vanaev S. F. *Kolloidnyi zhurnal*. 1978. No. 3. Pp. 463.
6. Epifantsev B. N., Tolmacheva N. A. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2002. No. 2. Pp. 21.
7. Skryabin K. G., Vikhoreva G. A., Varlamov V. P. *Khitin i khitozan: Poluchenie, svoistva i primeneniye* [Chitin and chitosan: preparation, properties and applications]. Moscow: Nauka, 2002.
8. Klenin V. I., Shchegolev S. Yu., Lavrushin V. I. *Kharakteristicheskie funktsii svetorasseyaniya dispersnykh system* [Characteristic functions of light scattering of dispersed systems]. Saratov: izd-vo Sarat. un-ta, 1977.
9. Bakirova E. R., Bazunova M. V., Bazunov A. A., Mustakimov R. A. *Vestnik Tekhnologich. u-ta*. 2019. Vol. 22. No. 9. Pp. 41–45.
10. Novakov I. A., Dryabina S. S., Malysheva Zh. N., Navrotskii A. V., Kuptsov A. V. *Kolloidnyi zhurnal*. 2009. Vol. 71. No. 1. Pp. 94–100.
11. Babenkov E. D. *Ochistka vody koagulyantami* [Water treatment with coagulants]. Moscow: Nauka, 1977.

Received 20.02.2021.