

Оценка эффективности очистки воды поверхностного источника с применением анионных и катионных флокулянтов

М.А. Сафронов, М.В. Бикунова, С.М. Салмин, Д.А. Янюшкин

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Аннотация: Приведены данные исследований по эффективности действия анионных и катионных флокулянтов, используемых для реагентной обработки воды в период паводка. Флокулирующая способность оценивалась по показателям мутности, перманганатной окисляемости, остаточной концентрации ионов алюминия и цветности воды. Наиболее значимые результаты по качеству очистки природной воды от органических и минеральных примесей были получены при использовании катионных флокулянтов, позволяющих снизить требуемые дозы коагулянта на 33% по сравнению с опытами, где применялись сернокислый алюминий и полиакриламид.

Ключевые слова: вода поверхностного источника, коагуляция, анионные и катионные флокулянты, отстаивание, фильтрование, эффективность очистки.

Для осуществления процесса коагуляционной обработки воды, забираемой из поверхностных источников водоснабжения, в большинстве случаев используются минеральные алюмосодержащие коагулянты, среди которых можно выделить сернокислый алюминий (СА) – недорогой и эффективный реагент. В процессе коагулирования СА способен обеспечить высокую степень гидролиза и образования малорастворимых частиц гидроксида алюминия, играющих важную роль при хлопьеобразовании [1-3]. При коагуляционной обработке воды поверхностных источников на очистных станциях в течении календарного года можно выделить период – время паводка, когда химические процессы, протекающие после добавления реагента, существенно замедляются и происходят гораздо менее эффективно, среди причин, объясняющих данное явление, основными являются значительное повышение содержания органических веществ, а также снижение температуры сырой воды в этот период [4-6]. Для повышения эффективности коагуляционной обработки природной воды могут использоваться различные реагентные методы, среди которых один из самых распространённых и эффективных – это флокуляционная обработка воды, которая производится совместно с коагулированием [7-8]. В качестве

реагента-флокулянта на большинстве водопроводных очистных сооружений, работающих на воде поверхностных источников используется полиакриламид (ПАА) [9]. В период паводка, когда количество расходуемых реагентов (коагулянт+флокулянт) по объективным причинам существенно возрастает, значительный интерес представляет поиск альтернативных реагентов-флокулянтов, способных обеспечить высокую степень очистки, а также снижение общего расхода реагентов, используемых в процессах коагулирования и флокулирования. Авторами данной статьи, проведены сравнительные испытания эффективности различных флокулянтов, уже используемых на некоторых эксплуатируемых очистных станциях [10-12] и рассматриваемых в качестве альтернативны для ПАА в периоды паводка или понижения температуры воды.

В ходе экспериментальных исследований исходная вода, взятая из реки Сура в период паводка, подвергалась реагентной обработке коагулянтом, а также флокулянтами российского и южнокорейского производства марок ПАА (анионный), ВПК-402 (катионный), К-4043 (анионный), К-6735 (катионный) и К-6841 (катионный). Перемешивание воды с реагентами осуществлялось механической мешалкой при градиентах скорости: для коагулянта – $130-160 \text{ с}^{-1}$, для флокулянтов – $15-25 \text{ с}^{-1}$. Время перемешивания составляло: для коагулянта 60 секунд, для флокулянтов – 300 секунд. После растворения введенных реагентов вода подвергалась отстаиванию в стеклянных цилиндрах в течении 60 минут, а также фильтрованию через бумажные фильтры. Качество очистки оценивалось на основании таких показателей как мутность, цветность, перманганатная окисляемость, а также содержание остаточного алюминия в фильтрате [3]. Сырая вода имела следующие физико-химические показатели: содержание взвешенных веществ (мутность) – 76-83 мг/л; цветность – 41 град; температура – 2,5-3,4 °С;

перманганатная окисляемость – 6,6-7,7 мгО₂/л; значение водородного показателя – 7,15-7,19; содержание алюминия – 0,042-0,046 мг/л.

На рис. 1 и 2 представлены графики, показывающие зависимость изменения мутности, мг/л, обрабатываемой воды от времени отстаивания в мерном цилиндре, мин, при коагулировании СА и флокулировании ВПК-402 (график 1), ПАА (график 2), К-4043 (график 3), К-6735 (график 4) и К-6841 (график 5). Исходная мутность речной воды составляла 76 мг/л – при дозе СА 60 мг/л и 83 мг/л – при дозе СА 40 мг/л.

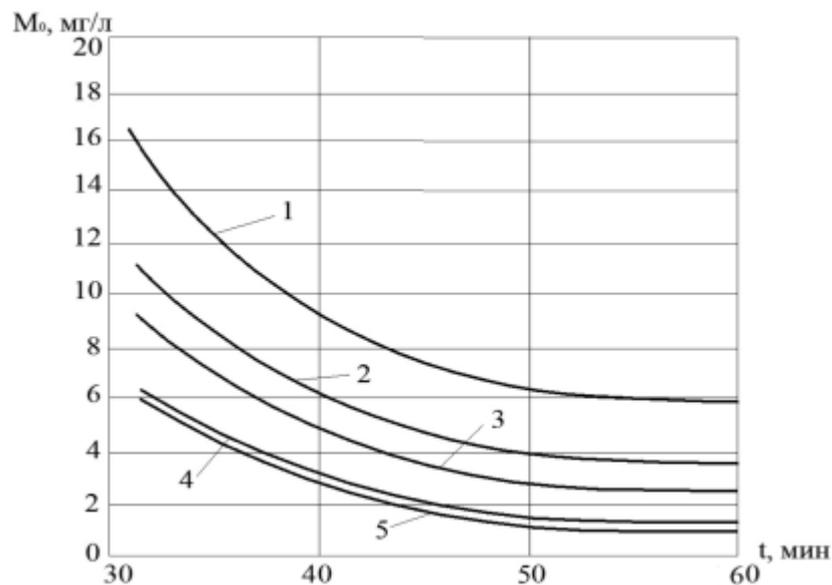


Рис. 1. – Графики результатов реагентной обработки исходной воды дозами коагулянта – 60 мг/л; флокулянта – 0,15 мг/л

Оценивая полученные результаты, запишем все исследуемые флокулянты в порядке эффективности работы каждого из них по показателю снижения исходной мутности, от минимальной к максимальной: при дозе СА 60 мг/л – К-6841 (мутность – 1,08 мг/л), К-6735 (мутность – 1,42 мг/л), К-4043 (мутность – 2,65 мг/л), ПАА (мутность – 3,63 мг/л), ВПК-402 (мутность – 5,85 мг/л); при дозе СА 40 мг/л – К-6841 (мутность – 2,01 мг/л), К-6735 (мутность – 2,92 мг/л), К-4043 (мутность – 3,04 мг/л), ПАА (мутность – 4,25 мг/л), ВПК-402 (мутность – 6,35 мг/л). Анализ данных, позволяет сделать

вывод, что использование катионных флокулянтов марки К, приводит к снижению дозы СА на 33 % при сохранении того же эффекта очистки.

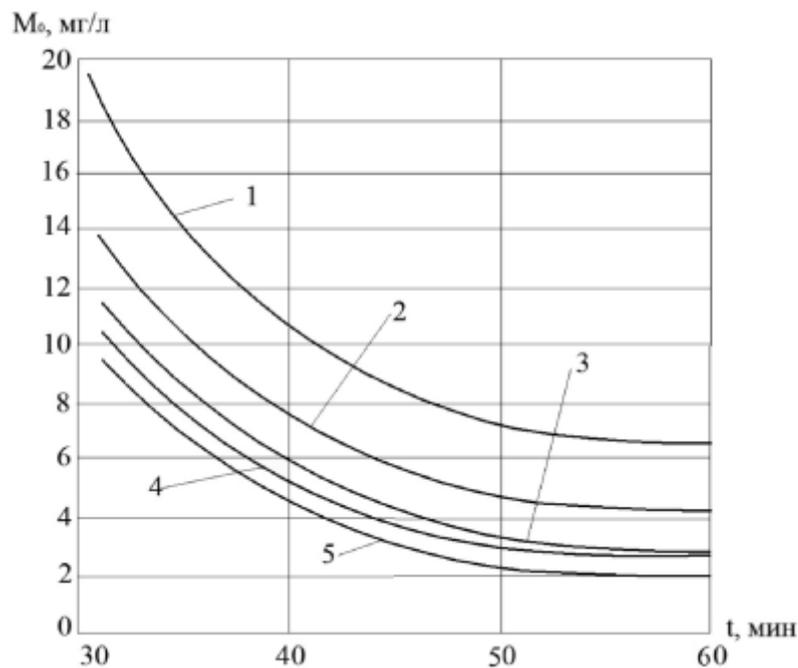


Рис. 2. – Графики результатов реагентной обработки исходной воды дозами коагулянта – 40 мг/л; флокулянта – 0,15 мг/л

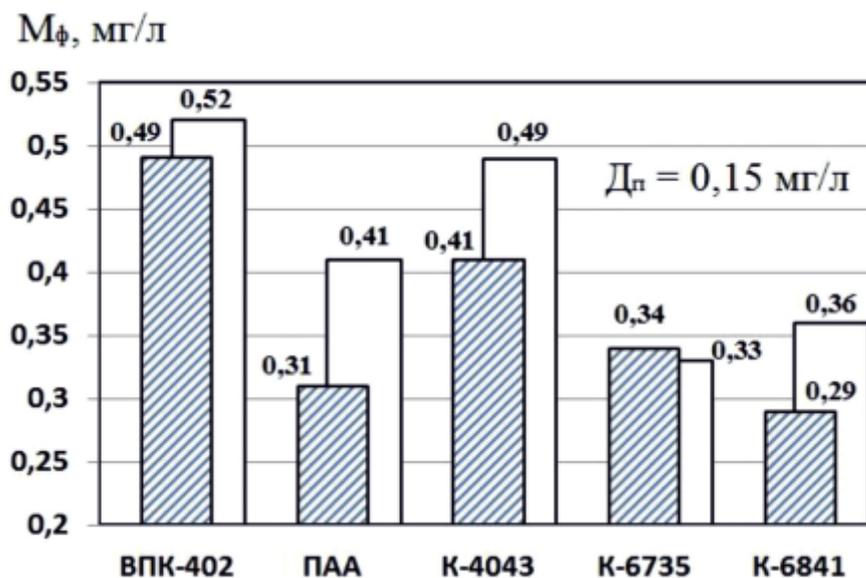


Рис. 3. – Диаграммы результатов реагентной обработки исходной воды по мутности при дозах коагулянта – 60 мг/л (заштриховано) и 40 мг/л (не заштриховано)

На рис. 3, 4 и 5 представлены диаграммы, показывающие значение мутности, мг/л, перманганатной окисляемости, $\text{MgO}_2/\text{л}$, и содержания остаточного алюминия, мг/л, в отстоянной воде, прошедшей процесс фильтрации.

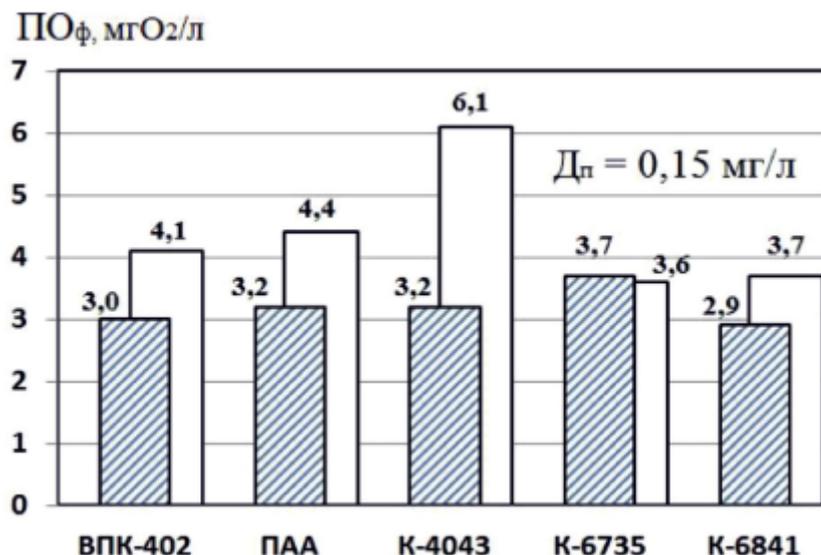


Рис. 4. – Диаграммы результатов реagentной обработки исходной воды по перманганатной окисляемости при дозах коагулянта – 60 мг/л (заштриховано) и 40 мг/л (не заштриховано)

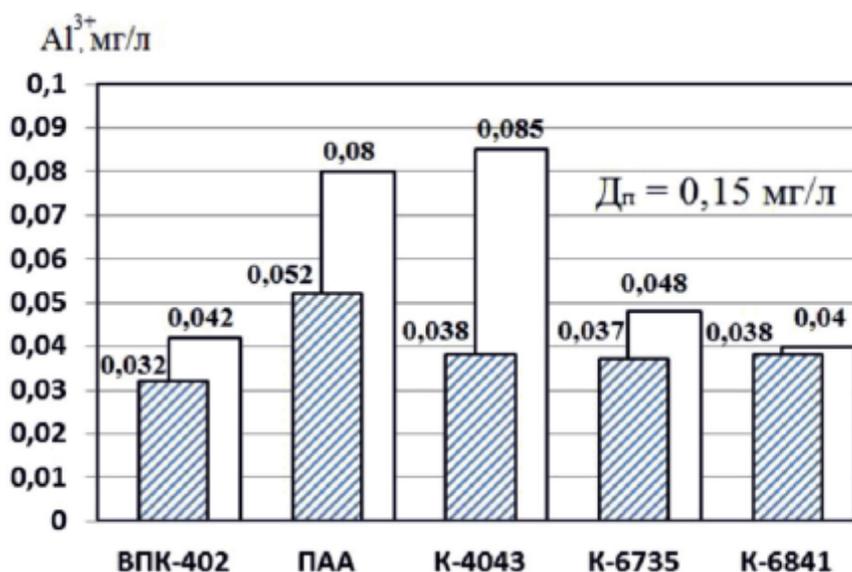


Рис. 5. – Диаграммы результатов реagentной обработки исходной воды по остаточному алюминию при дозах коагулянта – 60 мг/л (заштриховано) и 40 мг/л (не заштриховано)

Анализируя данные, представленные на рис. 3-5, можем сделать следующие выводы и замечания.

При дозе СА 60 мг/л:

- мутность – лучшие результаты показали К-6735, К-6841 и ПАА;
- перманганатная окисляемость – максимальное значение К-6735, остальные реагенты сработали чуть лучше примерно на одном уровне друг с другом;
- содержание остаточного алюминия – наименьшее значение у ВПК-402, флокулянты марки К сработали приблизительно на одном уровне, использование ПАА привело к повышению первоначальных концентраций.

При снижении дозы СА до 40 мг/л:

- мутность – для К-6735 осталась такой же, а для ПАА существенно возросла;
- перманганатная окисляемость – для К-6735 осталась такой же, а для ВПК-402, ПАА, К-4043, и К-6841 существенно возросла;
- содержание остаточного алюминия – лучшие результаты у К-6841 и ВПК-402, худшие результаты у ПАА и К-4043.

Цветность и водородный показатель в ходе проведения экспериментальных исследований изменялись следующим образом:

При дозе СА 60 мг/л:

- цветность – все флокулянты показали одинаковый результат – порядка 4-5 град;
- водородный показатель – наименьшее значение у ПАА (6,43), при использовании катионных флокулянтов – 6,76-6,78.

При снижении дозы СА до 40 мг/л:

- цветность – все флокулянты показали одинаковый результат – увеличение по сравнению с первоначальной на 2-3 град;

- водородный показатель – наименьшее значение у ПАА (6,63), при использовании катионных флокулянтов – 6,76-6,78.

По результатам проведенных экспериментальных исследований делаем вывод, что для обработки исследуемой исходной воды поверхностного источника в период паводка наиболее предпочтительным является использование минерального коагулянта СА совместно с катионными флокулянтами К-6735 и К-6841, которые показали высокий эффект очистки органических и неорганических примесей при возможности экономии дозы СА на 33 %.

Литература

1. Cui H., Huang X., Yu Z., Chen P., Cao X. Application progress of enhanced coagulation in water treatment // RSC Advances. 2020. vol. 10. № 34. pp. 20231–20244.
2. Trinh T.K., Kang L.S. Response surface methodological approach to optimize the coagulation-flocculation process in drinking water treatment // Chemical Engineering Research and Design. 2011. vol. 89. № 7. pp.1126-1135.
3. Драгинский В.А., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных и сточных вод. Москва, 2005. 576 с.
4. Liu J., He J., Yuan Y., Zhang J. Effect of different coagulants on flocculation performance and floc properties in northwest China raw water treatment // Water Supply. 2015. vol. 15. № 3. pp. 599-605.
5. Mensah-Akutteh H., Buamah R., Wiafe S., Nyarko K.B. Optimizing coagulation-flocculation processes with aluminium coagulation using response surface methods // Applied Water Science. 2022. vol. 12. № 8. pp. 188-200.
6. Katrivesis F.K., Karela A.D., Papadakis V.G., Paraskeva C.A. Revisiting of coagulation-flocculation processes in the production of potable water // Journal of Water Process Engineering. 2019. № 27. pp. 193-204.

7. Hogg R. Bridging flocculation by polymers // KONA Powder and Particle Journal. 2013. №30. pp. 3-14.
8. Vajihinejad V., Gumfekar S.P., Bazoubandi B., Rostami Najafabadi Z., Soares J.B.P. Water soluble polymer flocculants: synthesis, characterization, and performance assessment // Macromolecular Materials and Engineering. 2019. vol. 304. № 2. pp. 313-321.
9. Sheng D.P.W., Bilad M.R., Shamsuddin N. Assessment and optimization of coagulant process in water treatment plant: a review // ASEAN Journal of Science and Engineering. 2023. vol. 3. № 1. pp. 79-100.
10. Wilts E.M., Hezzberger J., Long T. E. Addressing water scarcity: cationic polyelectrolytes in water treatment and purification // Polymer International. 2018. vol. 67. № 7. pp. 799-814.
11. Afacan C., Narain R., Soares J.B.P. Flocculation and dewatering of kaolin suspensions with different forms of poly (acrylamide-co-diallyl dimethyl ammonium chloride) // Canadian Journal of Chemical Engineering. 2021. vol. 99. № 20. pp. 489-501.
12. Mehta A., Pandey J., Sen G. Synthesis of diallyl dymethyl ammonium chloride graffed polyvinyl pyrrolidone (PVP-g-DADMAC) and its applications // Material Science and Engineering. 2021. № 263. pp. 1147–1150.

References

1. Cui H., Huang X., Yu Z., Chen P., Cao X. RSC Advances. 2020. vol. 10. № 34. pp. 20231–20244.
 2. Trinh T.K., Kang L.S. Chemical Engineering Research and Design. 2011. vol. 89. № 7. pp.1126-1135.
 3. Draginskiy V.A., Alekseyeva L.P., Getmantsev S.V. Koagulyatsiya v tekhnologii ochistki prirodnykh i stochnykh vod [Coagulation in natural and wastewater treatment technology]. Moskva, 2005. 576 p.
-



4. Liu J., He J., Yuan Y., Zhang J. Water Supply. 2015. vol. 15. № 3. pp. 599-605.
5. Mensah-Akutteh H., Buamah R., Wiafe S., Nyarko K.B. Applied Water Science. 2022. vol. 12. № 8. pp. 188-200.
6. Katrivesis F.K., Karela A.D., Papadakis V.G., Paraskeva C.A. Journal of Water Process Engineering. 2019. № 27. pp. 193-204.
7. Hogg R. KONA Powder and Particle Journal. 2013. №30. pp. 3-14.
8. Vajihinejad V., Gumfekar S.P., Bazoubandi B., Rostami Najafabadi Z., Soares J.B.P. Macromolecular Materials and Engineering. 2019. vol. 304. № 2. pp. 313-321.
9. Sheng D.P.W., Bilad M.R., Shamsuddin N. ASEAN Journal of Science and Engineering. 2023. vol. 3. № 1. pp. 79-100.
10. Wilts E.M., Hezzberger J., Long T. E. Polymer International. 2018. vol. 67. № 7. pp. 799-814.
11. Afacan C., Narain R., Soares J.B.P. Canadian Journal of Chemical Engineering. 2021. vol. 99. № 20. pp. 489-501.
12. Mehta A., Pandey J., Sen G. Material Science and Engineering. 2021. № 263. pp. 1147–1150.

Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.

Дата поступления: 10.01.2026

Дата публикации: 3.03.2026