

УДК 624.04

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОЧИСТКИ ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ИСТОЧНИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ
АНИОННЫХ И КАТИОННЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ****¹Гришин Б.М., ¹Гарькин И.Н., ¹Салмин С.М., ²Янова С.Г.**¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»,

Пенза, e-mail: igor_garkin@mail.ru;

²ООО «Горводоканал», Пенза

Приведены данные лабораторных исследований по эффективности действия катионных и анионных полиэлектролитов (флокулянтов), используемых для реагентной обработки воды р. Суры в период паводка совместно с коагулянтом – сернокислым алюминием. В экспериментах были исследованы 2 анионных полиэлектролита (К-4043 и ПАА) и 3 катионных (ВПК-402, К-6735 и К-6841), флокулирующая способность которых оценивалась по показателям мутности, перманганатной окисляемости, остаточной концентрации ионов алюминия и цветности воды после двухступенчатой очистки отстаиванием и фильтрованием. Наиболее значимые результаты по качеству очистки природной воды от органических и минеральных примесей были получены при использовании катионных полиэлектролитов с высокой молекулярной массой, позволяющих снизить требуемые дозы коагулянта на 30% по сравнению с опытами, где применялись сернокислый алюминий и полиакриламид. Результаты приведенных в статье лабораторных исследований могут быть использованы на практике, на объектах по очистке воды в г. Пенза и Пензенской области. Методы по определению результатов исследований успешно внедрены в учебный процесс и используются в курсовых и дипломных работах при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

Ключевые слова: природная вода, органические и минеральные примеси, коагуляция, полиэлектролиты, флокуляция, отстаивание, фильтрование, эффективность очистки

**EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF SURFACE SOURCE
WATER PURIFICATION EFFICIENCY WITH APPLICATION
OF ANIONIC AND CATIONIC POLYELECTROLYTES****¹Grishin B.M., ¹Garkin I.N., ¹Salmin S.M., ²Yanova S.G.**¹Penza State University of Architecture and Construction, Penza, e-mail: igor_garkin@mail.ru;²ООО «Gorvodokanal», Penza

The data of laboratory studies on the effectiveness of cationic and anionic polyelectrolytes (floculants) used for reagent treatment of water of the Sura river during the flood in conjunction with the coagulant – aluminum sulfate are presented. The experiments were investigations wana 2 anionic polyelectrolyte (A-4043 and PAA) 3 and of cationic (VPK-402, K-6735 and K-6841), Flo-caliraya ability which is assessed in terms of turbidity, permanganate okilee the bridges, the residual concentration of aluminium ions and the colour of water after two-stage purification by settling and filtration. The most significant results on the quality of purification of natural water from organic and mineral impurities were obtained by using cationic poly-electrolytes with a high molecular weight, allowing to reduce the required doses of coagulant by 30% compared to experiments where aluminum sulfate and polyacrylamide were used. The results of the laboratory studies presented in the article can be used in practice, at the facilities for water purification in Penza and the Penza region. Methods for determining the results of research has been successfully implemented in the educational process, and are used in course and diploma works in the preparation of bachelors and masters in the direction of «Construction».

Keywords: natural water, organic and mineral impurities, coagulation, polyelectrolytes, flocculation, settling, filtration, purification efficiency

На большинстве водоочистных станций Российской Федерации, работающих на воде поверхностных источников, в качестве коагулянта используется сернокислый алюминий (СА). Коагуляция примесей воды происходит за счёт образования в процессе гидролиза СА малорастворимого основания $Al(OH)_3$ [1, 2].

Грубодисперсные и коллоидные примеси, содержащиеся в воде, адсорбируются на поверхности частиц $Al(OH)_3$ с образованием хлопьев и затем удаляются из воды при осветлении и фильтровании. В периоды низких температур (зимнее время или паводок)

процессы хлопьеобразования и осаждения примесей в воде, обработанной СА, замедляются. Образующиеся хлопья становятся мелкими, а в воде после очистки появляются повышенные концентрации коллоидных веществ и остаточного алюминия [3]. Это объясняется тем, что при низких температурах подвижность коллоидных частиц замедляется за счёт увеличения вязкости воды. Кроме того, в период паводка резко увеличивается содержание в воде органических примесей, препятствующих образованию агломератов коллоидных примесей с продуктами гидролиза сернокислого алюминия.

Наиболее распространённым способом ускорения процессов коагуляции является дополнительная обработка воды полиэлектролитами – полимерами, в состав молекул которых входят группы, способные к ионизации в водной среде. Обработка воды полиэлектролитами (флокулянтами), как правило, производится через некоторое время после введения в неё раствора коагулянта.

Результатом совместной обработки воды коагулянтом и полиэлектролитом является быстрое объединение микрохлопьев в крупные, хорошо осаждающиеся в воде флокулы, образующиеся за счёт создания высокомолекулярных полимерных «мостиков» между агрегатами первоначально скоагулированных частиц примесей [4].

Наиболее широко распространённым флокулянтом, применяющимся на водочистных станциях, является полиакриламид (ПАА) – слабоанионный полиэлектролит с молекулярной массой порядка 10^6 . В период паводка для обеспечения качества очищенной воды нормативным требованиям требуется увеличение дозы СА и ПАА, что приводит к значительному удорожанию процесса водоподготовки. В последние годы на рынке реагентов появились новые эффективные анионные и катионные полиэлектролиты, которые с успехом применяются для очистки природных и сточных вод и могут рассматриваться в качестве замены полиакриламида.

Целью настоящих исследований являлась сравнительная оценка эффективности использования различных полиэлектролитов при коагуляционной обработке и последующей очистке природной воды поверхностного источника в период паводка.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований являлась вода р. Суры, отобранная в районе водозаборного узла г. Пензы. Основные показатели качества речной воды были следующие:

- температура $2,6 \pm 3,5$ °С;
- мутность 77 ± 84 мг/л;
- щелочность $0,95 \pm 1,1$ ммоль/л;
- цветность 40 град;
- перманганатная окисляемость $6,7 \pm 7,5$ мг O_2 /л;
- рН $7,16 \pm 7,18$;
- алюминий $0,043 \pm 0,047$ мг/л.

Программа лабораторных исследований предусматривала обработку исходной сырой воды раствором коагулянта СА (с содержанием Al_2O_3 16%), ввод полиэлектролитов для ускоренного хлопьеобразования с последующим отстаиванием и фильтрованием исследуемых проб очищаемой воды.

Перемешивание воды с реагентами осуществлялось лабораторной механической мешалкой со следующими режимами: при вводе коагулянта – с градиентом скорости $G = 150$ с $^{-1}$ в течение 1 мин, а при вводе полиэлектролитов – с градиентом $G = 20$ с $^{-1}$ в течение 5 мин.

В экспериментах исследовались 5 видов флокулянтов, технические характеристики которых представлены в табл. 1.

Флокулянты ПАА и ВПК-402 выпускаются отечественными производителями, а флокулянты серии К являются продукцией компании «Kolon Life Science Inc» (Южная Корея).

После обработки реагентами пробы исследуемой воды переливались в литровые стеклянные цилиндры, где отстаивались в течение 1 часа. Далее осветленная после отстаивания вода отбиралась из верхней части каждого цилиндра и фильтровалась через бумажный фильтр. Дозы коагулянта СА (D_k) в различных сериях экспериментов принимались равными 40 и 60 мг/л, дозы полиэлектролитов (D_n) были одинаковыми и составляли 0,15 мг/л. В соответствии с рекомендациями [2] эффективность коагуляционной обработки с применением различных флокулянтов оценивалась по показателям мутности (М), цветности (Ц), перманганатной окисляемости (ПО) и концентрации ионов алюминия в очищенной воде. Кроме того, в каждой серии опытов определялись рН и щелочность фильтрата.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные графики зависимости мутности M_0 обработанной реагентами природной воды от времени отстаивания t показаны на рис. 1 и 2.

При дозе коагулянта $D_k = 60$ мг/л наиболее значимое снижение мутности при её исходном значении в речной воде $M_{исх} = 77$ мг/л наблюдалось в экспериментах с применением полиэлектролитов К-6735 и К-6841, для которых остаточная мутность M_0 отстоянной воды составляла соответственно 1,41 и 1,09 мг/л (графики 4 и 5, рис. 1). В экспериментах с применением ПАА, который является основным флокулянтом на водопроводных очистных сооружениях г. Пензы, остаточная мутность воды была равна 3,62 мг/л (график 2, рис. 1).

Техническая характеристика полиэлектролитов

Наименование	Товарная форма	Ионный заряд	Степень ионного заряда	Молекулярная масса
ПАА	гель	анионный	низкая	$2,3 \cdot 10^6$
ВПК-402	гель	катионный	высокая	$3 \cdot 10^5$
К-4043	порошок	анионный	средняя	$14 \cdot 10^6$
К-6735	порошок	катионный	средняя	$9 \cdot 10^6$
К-6841	порошок	катионный	высокая	$11 \cdot 10^6$

Анионный флокулянт К-4043 показал более высокую эффективность при использовании по сравнению с ПАА ($M_0 = 2,64$ мг/л, график 3, рис. 1), а наименьшее снижение мутности было получено в опытах с применением катионного полиэлектролита ВПК-402 ($M_0 = 5,9$ мг/л, график 1, рис. 1). Аналогичное распределение поли-

электролитов по эффективности действия (К-6841>К-6735>К-4043>ПАА>ВПК-402) наблюдалось при отстаивании речной воды, обработанной СА с дозой $D_k = 40$ мг/л (рис. 2). В указанном ряду флокулянтов остаточная мутность M_0 отстаиванной воды составляла соответственно 2,02; 2,91; 3,05; 4,3 и 6,4 мг/л при мутности исходной воды $M_{исх} = 84$ мг/л.

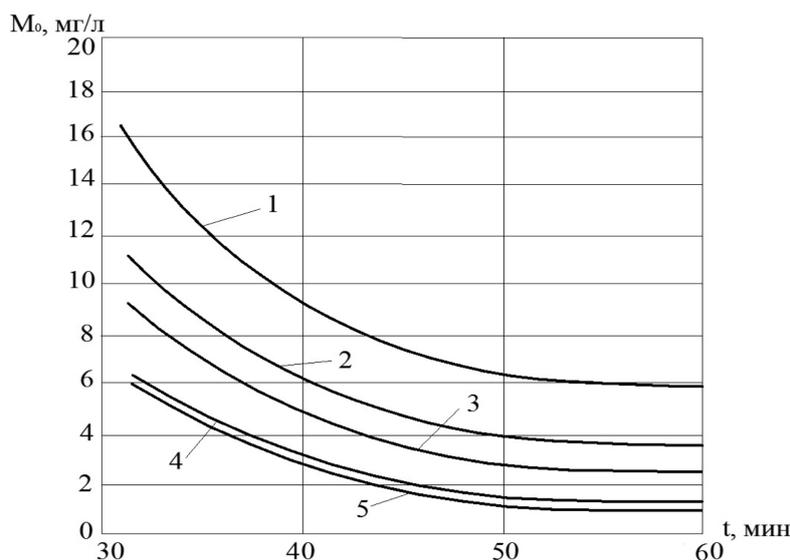


Рис. 1. Графики зависимости мутности воды (M_0) от времени отстаивания (t) при обработке коагулянтом СА с дозой $D_k = 60$ мг/л и полиэлектролитов с дозами $D_n = 0,15$ мг/л: 1 – ВПК-402; 2 – ПАА; 3 – К-4043; 4 – К-6735; 5 – К-6841

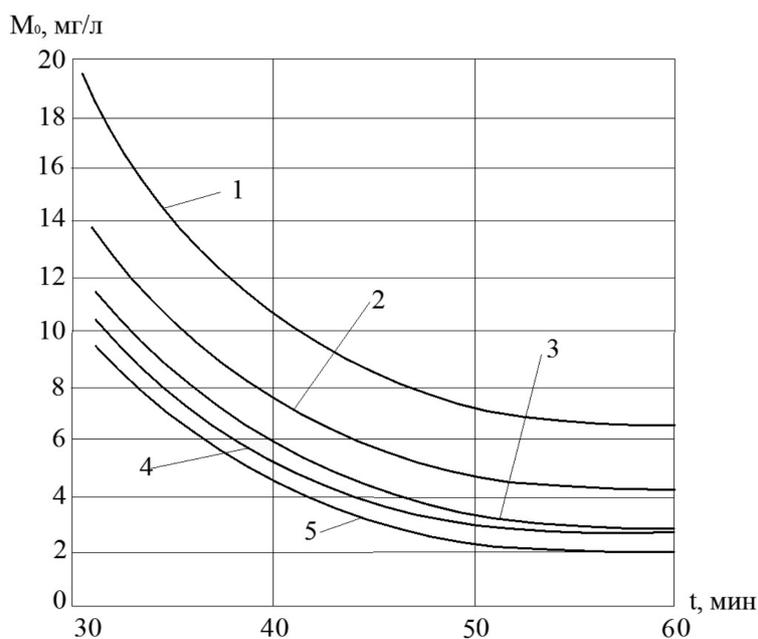


Рис. 2. Графики зависимости мутности воды (M_0) от времени отстаивания (t) при обработке коагулянтом СА с дозой $D_k = 40$ мг/л и полиэлектролитов с дозами $D_n = 0,15$ мг/л: 1 – ВПК-402; 2 – ПАА; 3 – К-4043; 4 – К-6735; 5 – К-6841

Анализ экспериментальных зависимостей $M_0 = f(t)$, представленных на рис. 1 и рис. 2, позволил сделать вывод о том, что наибольшую эффективность при очистке воды отстаиванием имеют анионные и катионные флокулянты серии К с высокой молекулярной массой. Применение этих флокулянтов позволяет снизить дозу коагулянта СА в 1,5 раза (с 60 до 40 мг/л) без ухудшения эффективности отстаивания по сравнению с совместным применением СА и ПАА, в настоящее время имеющим место на водопроводных очистных сооружениях г. Пензы.

На рис. 3–5 изображены диаграммы мутности (M_ϕ), перманганатной окисляемости (PO_ϕ) и остаточных концентраций ионов алюминия (Al^{3+}) в речной воде, прошедшей двухступенчатую очистку отстаиванием и фильтрованием после коагуляционной обработки.

Наименьшие значения мутности фильтрата при $D_k = 60$ мг/л ($M_\phi = 0,29$ – $0,34$ мг/л) были получены в экспериментах с применением флокулянтов ПАА,

К-6735 и К-6841 (рис. 3). При снижении дозы СА до 40 мг/л остаточная мутность профильтрованной воды, обработанной ПАА, весьма значительно увеличилась (до $M_\phi = 0,41$ мг/л), в то время как для флокулянта К-6735 качество фильтрата осталось на прежнем уровне ($M_\phi = 0,33$ мг/л).

При использовании сернокислого алюминия с дозой $D_k = 60$ мг/л для большинства флокулянтов остаточные значения PO_ϕ находились в пределах 2,9–3,2 мг O_2 /л (рис. 4). Более высокие значения окисляемости в фильтрате наблюдались только при дозировании флокулянта К-6735 (3,7 мг O_2 /л). Однако в экспериментах с дозой СА 40 мг/л и использованием полиэлектролита К-6735 ухудшения качества фильтрованной воды по окисляемости не происходило ($PO_\phi = 3,6$ мг O_2 /л), в то время как для остальных флокулянтов значения PO_ϕ заметно выросли, а в опытах с флокулянтом К-4043 превысили нормативный показатель для питьевой воды (5 мг O_2 /л), требуемый СанПиН [5].

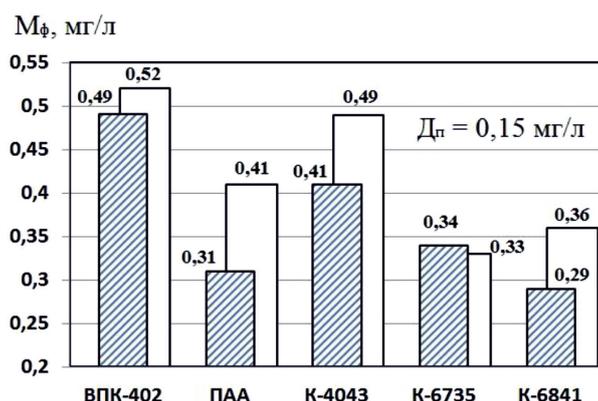


Рис. 3. Диаграммы остаточной мутности фильтрата (M_ϕ) при использовании различных полиэлектролитов:  – для $D_k = 60$ мг/л;  – для $D_k = 40$ мг/л

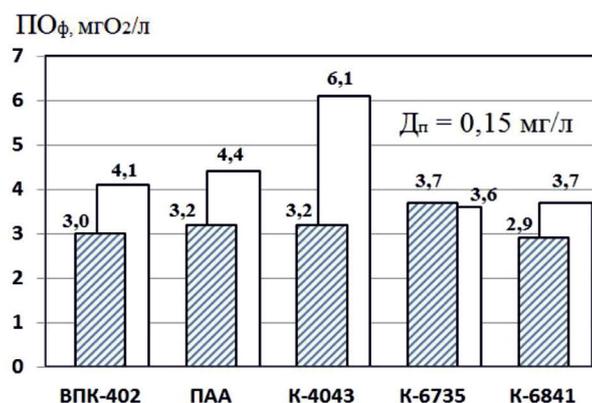


Рис. 4. Диаграммы перманганатной окисляемости фильтрата (PO_ϕ) при использовании различных полиэлектролитов:  – для $D_k = 60$ мг/л;  – для $D_k = 40$ мг/л

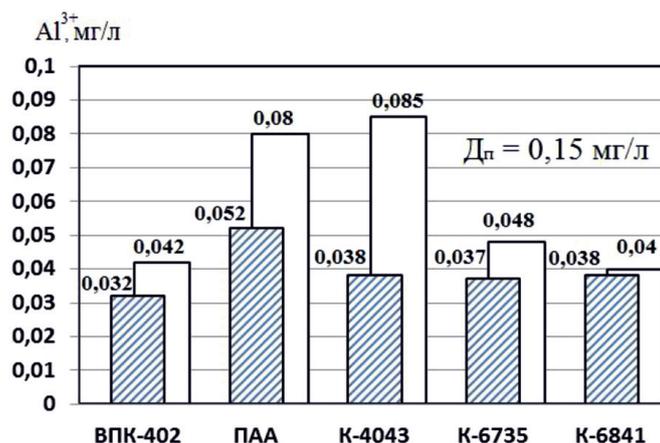


Рис. 5. Диаграммы концентраций остаточного алюминия в фильтрате (Al^{3+}) при использовании различных полиэлектролитов:  – для $D_k = 60$ мг/л;  – для $D_k = 40$ мг/л

Что касается остаточных концентраций алюминия в очищенной воде, то при $D_k = 60$ мг/л лучший результат ($Al^{3+} = 0,032$ мг/л) был показан в опытах с использованием флокулянта ВПК-402 (рис. 5). Коагулянты серии К показали примерно одинаковую эффективность очистки ($Al^{3+} = 0,037 \div 0,038$ мг/л). При снижении дозы СА до 40 мг/л незначительный эффект очистки воды от ионов алюминия наблюдался только в экспериментах с применением флокулянтов ВПК-402 и К-6841 ($Al^{3+} = 0,04 \div 0,042$ мг/л), а наибольшие остаточные концентрации Al^{3+} (до 0,085 мг/л) имели место в опытах с полиэлектролитом К-4043. Что касается опытов с вводом флокулянта ПАА, то при всех исследуемых дозах коагулянта СА концентрации остаточного алюминия в очищенной воде были выше его исходных значений до очистки, что говорит о недостаточной селективной адсорбции ионов Al^{3+} молекулами ПАА в условиях низких температур воды.

Анализ диаграмм на рис. 3–5 показал, что катионные флокулянты с высокой молекулярной массой позволяют получить достаточно стабильное качество двухступенчатой очистки речной воды по мутности, перманганатной окисляемости и ионам алюминия даже при снижении дозы коагулянта СА с 60 до 40 мг/л.

Экспериментальные данные по цветности очищенной воды показали одинаковую эффективность действия полиэлектролитов. При $D_k = 60$ мг/л остаточная цветность фильтрата во всех пробах составляла 5 град, а при $D_k = 40$ мг/л цветность воды после очистки поднималась до 8 град.

Наименьшие значения pH_{ϕ} очищенной воды имели место при использовании

ПАА (при $D_k = 60$ мг/л, $pH_{\phi} = 6,44$, а при $D_k = 40$ мг/л, $pH_{\phi} = 6,62$). Катионные флокулянты К-6735 и К-6841 обеспечили более высокую стабильность воды по концентрациям ионов H^+ . При $D_k = 60$ мг/л pH_{ϕ} снижалась до 6,6, а при $D_k = 40$ мг/л значения pH_{ϕ} составляли 6,75–6,77.

Заключение

1. Для реагентной обработки сурской воды в период паводка более предпочтительным является совместное применение с сернокислым алюминием катионных полиэлектролитов, которые по сравнению с анионными флокулянтами обеспечивают высокое качество очистки даже при снижении дозы коагулянта на 30% [6].

2. Эффективность удаления примесей из воды с применением высоких доз коагулянта и катионных полиэлектролитов зависит как от силы заряда, так и от молекулярного веса флокулирующих реагентов. В то же время при двухступенчатом удалении из воды мутности и перманганатной окисляемости с её обработкой пониженными дозами коагулянта весьма эффективен катионный флокулянт К-6735 с высокой молекулярной массой и средней силой заряда.

3. По результатам экспериментов катионные полиэлектролиты К-6735 и К-6841, которые показали наиболее высокую адгезионную способность в отношении к минеральным и органическим примесям, могут быть рекомендованы для реагентной обработки сурской воды в период паводка на водопроводных очистных сооружениях г. Пензы.

4. Полученные результаты являются логическим продолжением работ [7–9].

Список литературы

1. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. М.: Недра, 1977. 356 с.
2. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М.: Науч. изд., 2005. 576 с.
3. Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Камбург В.Г., Алексеева Т.В., Ширшин И.Б. Моделирование процессов флотационной очистки сточных вод // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 2. С. 91–99.
4. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. М.: Стройиздат, 1984. 201 с.
5. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества / СанПиН 2.1.4.1074 01. М.: Минздрав России, 2002. 111 с.
6. Федотов Р.В., Шукин С.А., Степаносьянц А.О., Чепкасова Н.И. Современные технологии очистки природных вод от антропогенных загрязнений // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 9–3. С. 452–456.
7. Гришин Б.М., Бикунова М.В., Ласьков Н.Н., Вилкова Н.Г., Перельгин Ю.П. Применение вихревых смесительных устройств в технологиях механической и физико-химической очистки сточных вод // Региональная архитектура и строительство. 2016. № 2 (27). С. 112–117.
8. Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Шеин А.И., Князев В.А. Математическая модель определения равновесной концентрации извлекаемых в процессе сорбционной очистки загрязняющих веществ // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 1 (30). С. 118–123.
9. Андреев С.Ю., Петрунин А.А. Повышение эффективности флотационной очистки сточных вод за счет использования гидродинамических устройств // Энциклопедия инженера-химика. 2014. № 10. С. 30–34.