

УДК 628.161*3(470.11)

ПРИМЕНЕНИЕ ФЛОКУЛЯНТОВ В ПРОЦЕССЕ ВОДОПОДГОТОВКИ

Т.Е. Бойкова, Н.И. Богданович, Т.С. Мауричева

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Схемы водоподготовки, применяемые на большинстве предприятий Архангельской области, спроектированы в прошлом веке. Вода на выходе из сооружений не отвечает новым требованиям. В работе изложены результаты экспериментального исследования эффективности применения современных реагентов. Исходная вода для исследования из поверхностных источников: Северная Двина, Солза, Вычегда с высокой цветностью при малой мутности и щелочности. В качестве коагулянта выбран Ferix-3, как один из перспективных (по данным предварительных экспериментов). Совместно с ним тестировали целый спектр флокулянтов различных марок производства Финляндия, Швейцария, Франция. Проведено сравнительное исследование эффективности флокулянтов на основе синтетических полимеров и природного соединения альгината натрия.

Ключевые слова: водоподготовка, коагулянт, флокулянт, альгинат натрия, высокоцветная вода.

Для водоснабжения предприятий и населения в Архангельской области служат поверхностные источники – реки. В работе исследовано качество воды рек Солза, Северная Двина в нижнем течении, Вычегда. Площадь водосбора расположена в залесенной, заболоченной территории. Температура воды близка к нулю более 8 месяцев в году, короткий световой день в период с октября по апрель. Все это влияет на качество воды источников. Вода характеризуется высокой цветностью 150-280 °ПКШ, при малой мутности до 20 мг/л, низкой щелочностью 0,5 – 1,5 мг/л. Растительные остатки в воде не полностью разлагаются вследствие замедления химических реакций в данных условиях, поэтому регистрируется высокое содержание гуминовых кислот и фульвокислот: продуктов неполного разложения органических соединений. Именно данные молекулы с высокой молекулярной массой придают воде источников высокую цветность. Косвенным подтверждением большого содержания органики являются повышенные значения ХПК, до 80-100 мг O₂/л, несмотря на то, что в бассейнах рек Солза, Вычегда выше точки отбора проб нет промышленных предприятий и других источников техногенного загрязнения. Следовательно, органическое загрязнение при-

родного происхождения. Данные соединения находятся в воде в коллоидно-дисперсном состоянии, размер частиц от 1 до 100 нм, их невозможно устранить отстаиванием и фильтрацией.

Для устранения коллоидно-дисперсных примесей из воды применяется метод коагуляции. В городах Северодвинск, Новодвинск, Коряжма для водоподготовки построены фильтроочистные сооружения (ФОС). Схема водоподготовки традиционная для того времени (70-е годы 20 века): предварительное хлорирование гипохлоритом натрия для начального разрушения органических молекул, подщелачивание кальцинированной содой, добавление коагулянта и флокулянта, отстаивание с последующей фильтрацией (рис. 1). Для промышленных потребителей: ТЭЦ, ЦБК вода после этого направляется на глубокую доочистку ионообменными фильтрами. Очистные сооружения разделены на участки, вода готовится на различных участках и для населения, и для ТЭЦ, ТЭС ЦБК по одинаковой технологии. Поэтому применяемые реагенты должны соответствовать требованиям гигиенических стандартов [11], технологического регламента [21]; их остаточное содержание не должно наносить ни вреда здоровью человека, ни затруднять работу ионитной части ФОС.

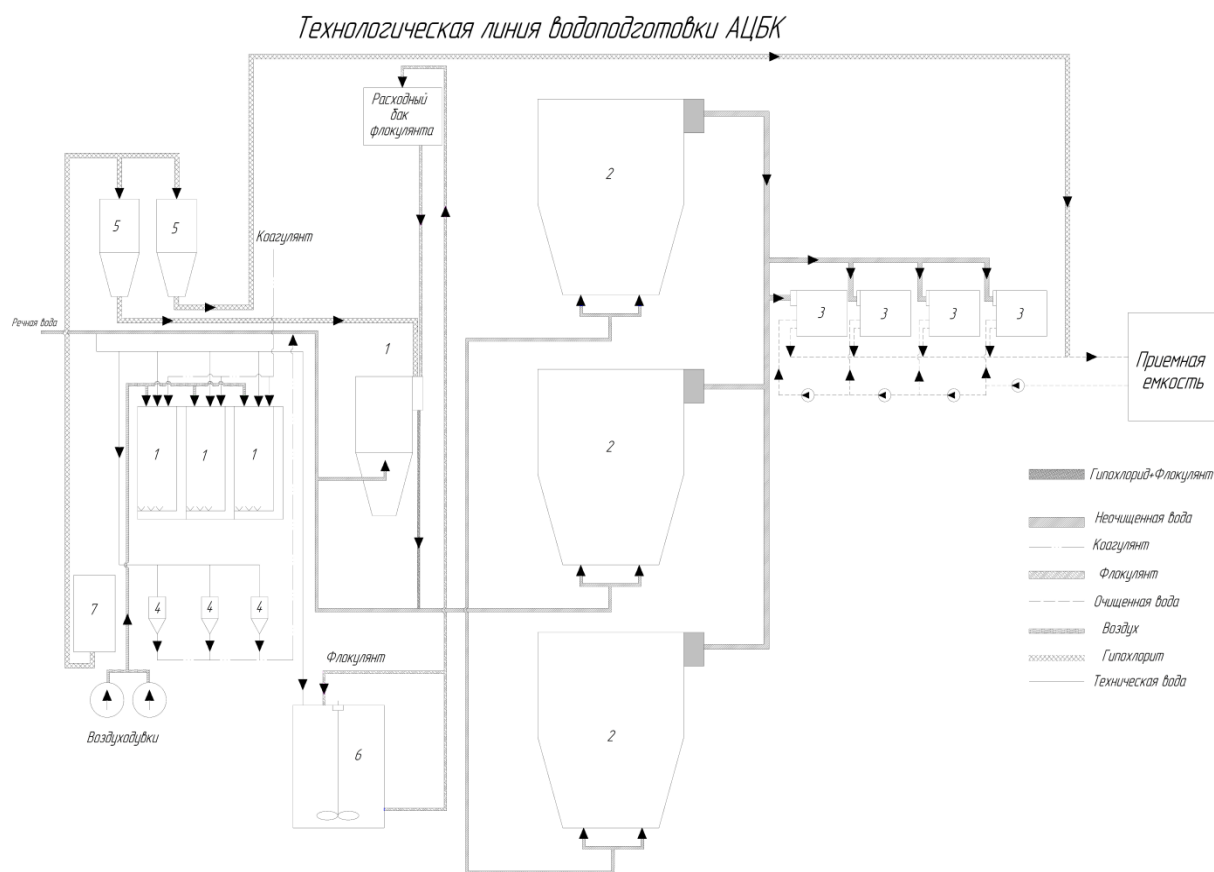


Рис. 1. Технологическая схема обработки природной воды

1 – смеситель; 2 – осветлитель; 3 – скорый фильтр; 4 – бак раствора коагулянта; 5 – расходный бак гипохлорита; 6 – мешалка флокулянта; 7 – бак хранения гипохлорита; 8 – расходный бак флокулянта; 9 – приемная емкость

На всех предприятиях водоподготовки области в качестве коагулянта применяется сернокислый алюминий (СА) в виде раствора с содержанием 7,2% по активному веществу. При этом в городах Новодвинске, Коряжме вода подогревается до температуры минимум 10°C , в Северодвинске температура воды при обработке как в источнике. Анализ литературных данных [20, 12, 15, 14] и проведенные эксперименты показывают, что при низких температурах гидролиз СА замедляется, хлопья формируются мелкие, кроме того повышенная вязкость воды при температуре $0-2^{\circ}\text{C}$ препятствует осаждению сформировавшихся хлопьев. Для интенсификации процесса коагуляции добавляют большие дозы СА (до 80-100 мг/л), однако это не приводит к необходимому увеличению эффективности.

При этом регистрируется повышенное содержание остаточного алюминия в обработанной воде - свыше 0,2-0,5 мг/л. Это не соответствует нормам, предъявляемым ни к питьевой воде [11, 17], ни к воде после предочистки для ТЭС [10, 21]. Актуальность повышения эффективности водоподготовки очевидна, так как при качественно проведенном процессе осветления химическая нагрузка на воду и агрессивность воды по отношению к последующим фильтроочистным сооружениям и техническим устройствам снизятся.

В настоящее время известны и успешно применяются различные способы повышения эффективности коагуляции: применение флокулянтов, изменение режима добавления коагулянта к воде [15, 19], рециркуляция осадка коагулированной взвеси, физические методы интенсификации.

фикации, такие как магнитная обработка [22], обработка окислителями и активным углем [16].

Большинство из этих способов требуют существенной реконструкции ФОС и капитальных вложений. Применение современных реагентов может оказаться более экономичным и при этом не менее эффективным способом повысить качество водоподготовки.

В работах [1, 4, 5, 6] проведено экспериментальное исследование влияния на эффективность очистки современных коагулянтов. Лучшие результаты дали полиоксихлорид алюминия торговой марки Акваурат (Россия), Ферикс-3 на основе трехвалентного сернокислого железа (Кемира, Финляндия). Повысить эффективность применения коагулянтов можно при помощи флокулянтов. Это стало направлением дальнейшего исследования.

В водоподготовке флокуляция определяется как «сшивание» микрохлопьев – вторичных коагуляционных структур, которые образуются путем объединения в крупные и тяжелые агрегаты (флокулы). Мостовая модель говорит, что флокуляция заключается в фиксации концов макромолекул на поверхности частиц и в адсорбции попавших в глубину раствора сегментов на свободных участках соседних частиц. Применение флокулянтов для обесцвечивания природных вод обеспечивает удаление гумуса (гуминовые кислоты, фульвокислоты – креновые, апокреновые) или при химической реакции между карбоксильными и фенольными группами гуминовых кислот и основными группами флокулянта с образованием слабодиссоциированных солей, или в результате образования нерастворимых комплексов. В любом случае образуется осадок.

Выделяют две основные группы флокулянтов: синтетические и на основе природных соединений. К синтетическим относят полиакрилаты натрия, получаемые при гидролизе полиакрилонитрила, сополимеры винилацетата и других эфи-

ров уксусной кислоты, акриламида и сополимеры акриламида. Наибольшее распространение в России и за рубежом получили сополимеры акриламида с различными зарядами (катионный, анионный, неионогенный) и плотностью заряда, а также молекулярной массой. Это флокулянты марки Praestol Российского производства, и флокулянты Magnafloc швейцарской фирмы Ciba Specialty Chemicals, Floram компании «SNF FLOERGER», Франция, Besfloc - продукция южнокорейской компании «Kolon Life Science, Inc».

Кроме того, за рубежом широко применяются флокулянты на основе природных соединений, но в России эта практика не так распространена [8, 23, 24, 25]. Представителями таких флокулянтов являются: растворимый крахмал и производные крахмала при гидролизе (обработка 2,5%-й щелочью); карбоксиметилцеллюлоза - щелочная целлюлоза, обработанная монохлоруксусной кислотой; полиальгинат натрия, который производится из морских водорослей после их щелочной обработки; гуар – полисахарид растительного происхождения. Все они являются полиэлектролитами с молекулярной массой от 10^5 до 10^7 . Данные реагенты безвредны для окружающей среды и человека, что является их несомненным достоинством. Следует отметить, что на предприятиях водоподготовки в России данные реагенты не получили распространения.

Обычно считается, что природные флокулянты уступают по эффективности синтетическим, но в литературе встречаются результаты исследований, доказывающие эффективность их применения при обработке наиболее «трудного» типа вод, богатых органическими загрязнениями [2]. Например, крахмал в сочетании с железом и алюминий содержащими коагулянтами при низких температурах воды дает хорошие результаты [9]. Его недостаток как флокулянта состоит в значительных остаточных концентрациях в обработанной воде. Альгинатсодержа-

щие флокулянты рекомендуется применять при очистке цветных вод с низким щелочным резервом и величиной рН менее 6,8 [2], особенно эффективны альгинаты для мутных вод при дозе 0,2 мг/л. Их преимущество в полном отсутствии токсических свойств.

Независимо от происхождения, все существующие флокулянты принято

делить на три типа: анионные, катионные, неионогенные. Считается, что для очистки воды от гуминовых и фульвокислот эффективнее применять катионные флокулянты. Это утверждение проверили для современных флокулянтов различных марок, типов и производителей, 21 образец от фирм-поставщиков.

Таблица 1

Сравнительная характеристика исследуемых флокулянтов

Тип реагента	Торговая марка	Относительный заряд	Молекулярная масса
Катионные	Floream FO 4115 SH	очень низкий	очень высокая
	Floream FL 4540 PWG	очень высокий	высокая
	Floream FO 4240 SH	низкий	очень высокая
	Floream FO 4190 SH (аналог флокулянта Праестол 611 BC)	низкий	очень высокая
	Floream FO 4440 SH	средний	очень высокая
	Магнафлок LT 22 S	-	очень высокая
	Superfloc C-492 PWG	низкий	высокая
Анионные	Floream AN 905 SH	крайне низкий	очень высокая
	Floream AN 910	низкий	высокая
	Floream AN 913 SH	низкий	очень высокая
	Floream AN 934 SH	средний	очень высокая
	Магнафлок LT 25 S	низкий	высокая
	Superfloc A-100	очень низкий	низкая
	Superfloc A-110	очень низкий	низкая
	Superfloc A-120	низкий	низкая
	Superfloc A-130 LMW	средний	низкая
	Superfloc A150	высокий	низкая
	Альгинат натрия	средний	средняя
Неионные	Floream AN 912 SH	-	очень высокая
	Магнафлок LT 20	-	высокая
	Superfloc N-100	-	низкая
	Superfloc N-300	-	низкая

Эксперимент и обсуждение

Эксперимент проводили в лаборатории на воде рек Вычегда, Солза, Северная Двина в период сентябрь-октябрь 2018 года. Пробы воды отбирали из источников в районе промышленного водозабора, выше по течению. Коагуляцию проводили в тот же день по методике пробной коагуляции.

Исходные показатели воды: рН от 6,85 до 7,07 ед. рН; цветность от 180 до

270 °БКШ; щелочность 0,95-1,02 мг/л; ХПК 70-87 мг О₂/л; взвешенные вещества от 5 до 10 мг/л. При пробном коагулировании в ряд мерных стаканов с 200 мл речной воды дозировали коагулянт Ferix-3, 1%-й раствор по Fe₂O₃, в дозировке 40 мг/л. Эта доза по результатам предварительных экспериментов [5, 6, 3, 7] является оптимальной для данного реагента при совместном применении с флокулянтами. Пробу быстро перемешивали на

магнитной мешалке со скоростью 150 об/мин. Через 1 минуту уменьшали скорость вращения до минимальной, вводили соду, флокулянт и перемешивали 10 мин. Затем наблюдали осаждение скоагулированных хлопьев за 30 минут в мерных цилиндрах. Каждые 15 минут измеряли мутность осветленной пробы (надосадочный слой). По истечении указанного времени обработанную воду декантацией фильтровали через фильтр «синяя лента».

После фильтрации измеряли основные показатели качества воды: остаточную цветность фотоколориметрическим методом ГОСТ Р 52769-2007; мутность турбидиметрическим методом по формазину, ПНД Ф 14.1:2:4.213-05; pH

потенциометрическим методом ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97, ХПК титриметрическим методом ПНД Ф 14.1:2.100-97 и остаточное железо фотометрическим методом с о-фенантролином ПНД Ф 14.1:2.2-95.

Результаты эксперимента представлены в виде графиков на рис. 2-5. Здесь и далее введем обозначения: Дк – доза коагулянта, Дф – доза флокулянта, Дс – доза соды для подщелачивания; С_{вв} – взвешенные вещества, то есть мутность воды мг/л, С_{Fe} – остаточное железо в обработанной воде. Эффективность коагуляции оценивали по гидравлической крупности сформировавшихся хлопьев, для этого строили кривые осаждения.

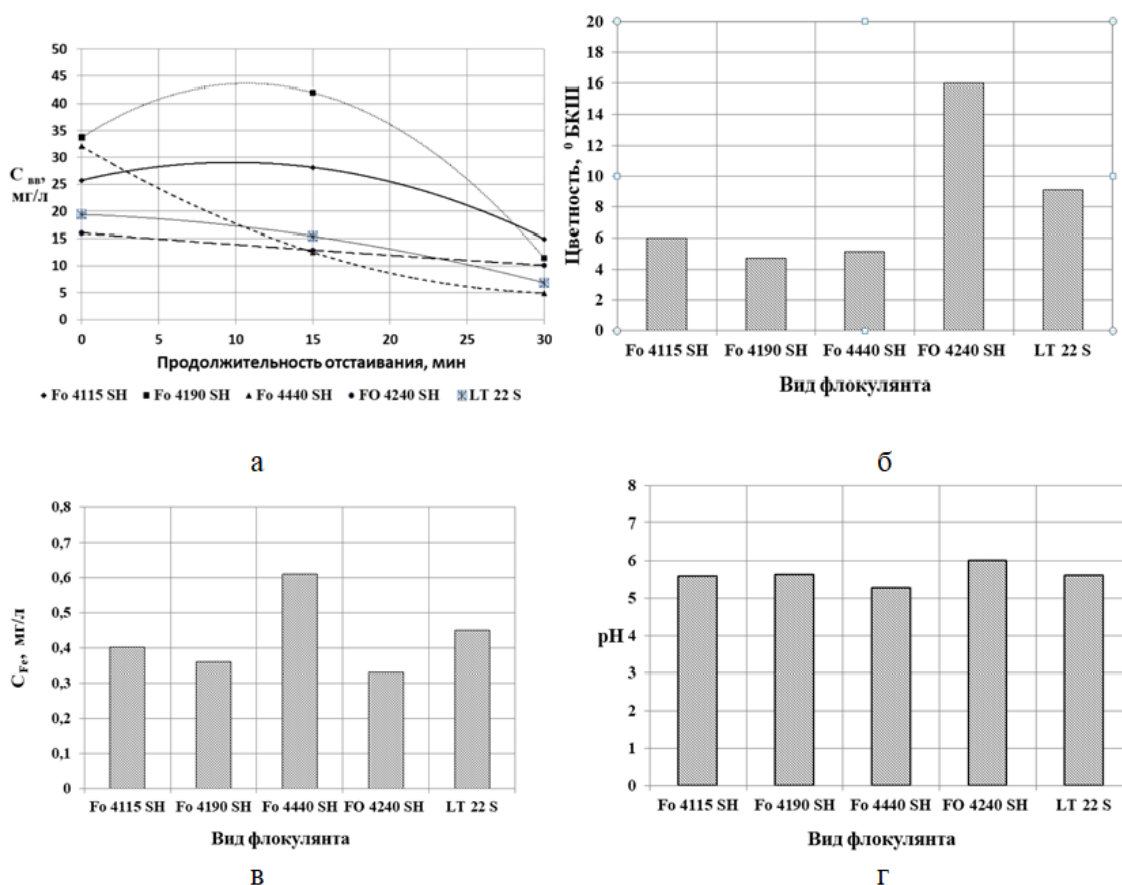


Рис. 2. Влияние типа флокулянта на качество очищенной воды в период паводка: катионные Magnafloc LT швейцарской фирмы Ciba Specialty Chemicals, Floпам FO компании «SNF FLOERGER», (Дк=40 мг/л Ferrix-3, Дф=0,5 мг/л, Дс=25 мг/л): а – осветление воды; б – цветность; в – остаточное железо, г – pH

Данные катионные флокулянты (рис. 2) с низкой плотностью заряда и очень высокой молекулярной массой, предположительно наилучшим образом подходят для анализируемого типа воды. Как видно из результатов лабораторных испытаний, кривые осаждения для всех флокулянтов убедительны. Концентрация взвешенных веществ по окончании отстаивания близка к контрольной - 10 мг/л, несколько превышает только с флокулянтом FO 4240; данное значение оптимально при работе реальных ФОС [18]. Если Свв через 30 минут выше 10 мг/л, это приведет к нарушению работы фильтров и их останову для промывки. С

применением флокулянта FO 4440 образовались крупные, быстро осаждаемые хлопья, остаточная цветность также очень хорошая. Однако видим превышение норм по остаточному железу C_{Fe} критическое значение 0,2 мг/л для участка ФОС-1 ЦБП, участок водоподготовки для ТЭС. Нормам питьевого водоснабжения вода во всех пробах удовлетворяет, в период паводка норматив 1,0 мг/л. Предполагаем, что глубину очистки можно улучшить, если немного увеличить дозу подщелачивающего реагента. При этом и значения рН поднимутся до требуемых 6 и более единиц рН (рис. 2 г).

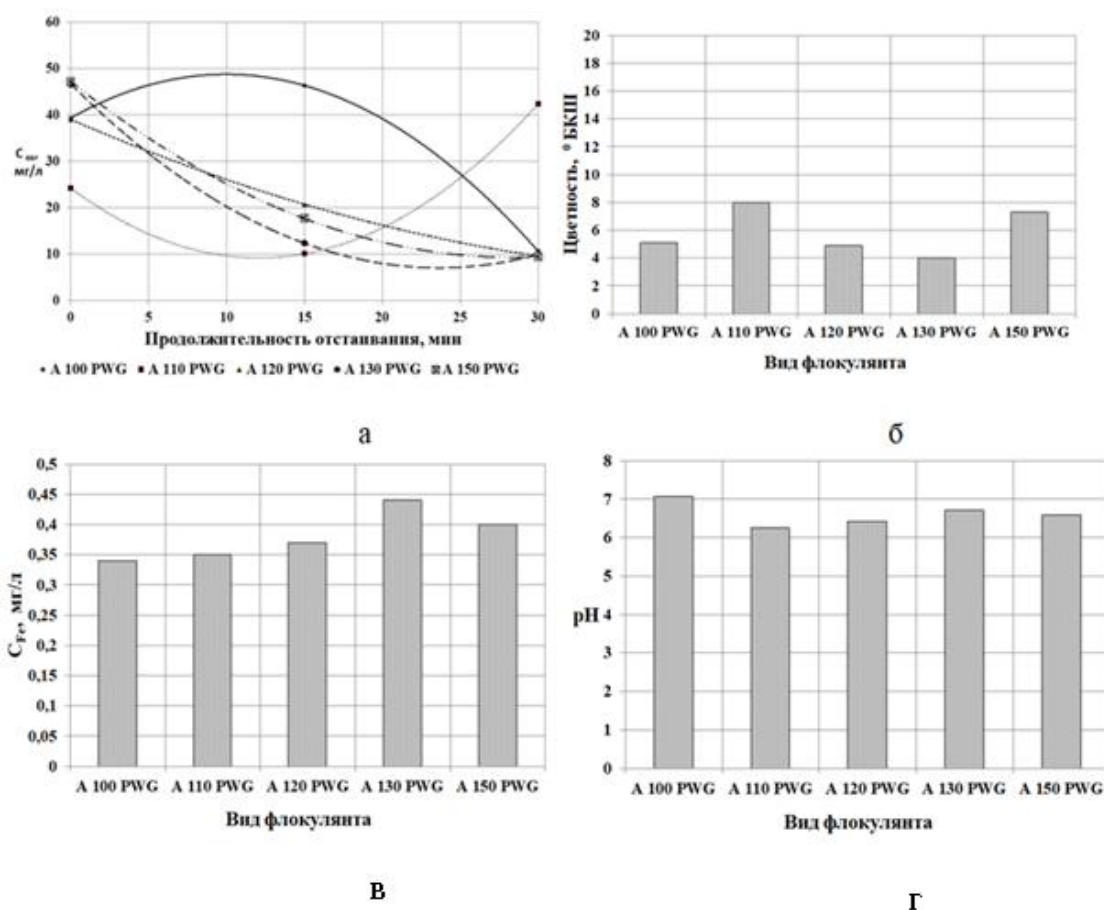


Рис. 3. Влияние типа флокулянта на качество очищенной воды в период паводка: анионные компании Kemira, Финляндия (Дк=40 мг/л Fertix-3, Дф=0,5 мг/л, Дс=25 мг/л): а – осветление воды; б – цветность; в – остаточное железо, г – рН

Как видно из рис.3, финские анионные флокулянты показали идентичный друг другу результат. Данные флокулянты в ряду расположены по увеличению относительного заряда, от очень низкого у А100, до высокого у А150. По скорости осаждения отметим А130, уже через 15 минут осветления $C_{св}$ близка к 10 мг/л. Остальные показали примерно такой же результат, только А110 на момент окончания отстаивания дал всплывающий осадок, видимо это объясняется низкой плотностью заряда и как следствие, лег-

костью сформировавшихся хлопьев. А100 коагулировал медленнее всех из этой группы. Остаточная цветность очень низкая, от 4 до 8 °БКШ, что является прекрасным результатом для данного типа коагулянта; так как при плохо подобранном режиме и дозе он может выдать цветность, в два раза превышающую исходную. По рН также результат хороший, но наблюдается несколько повышенное значение C_{Fe} , примерно на одном уровне с катионными флокулянтами.

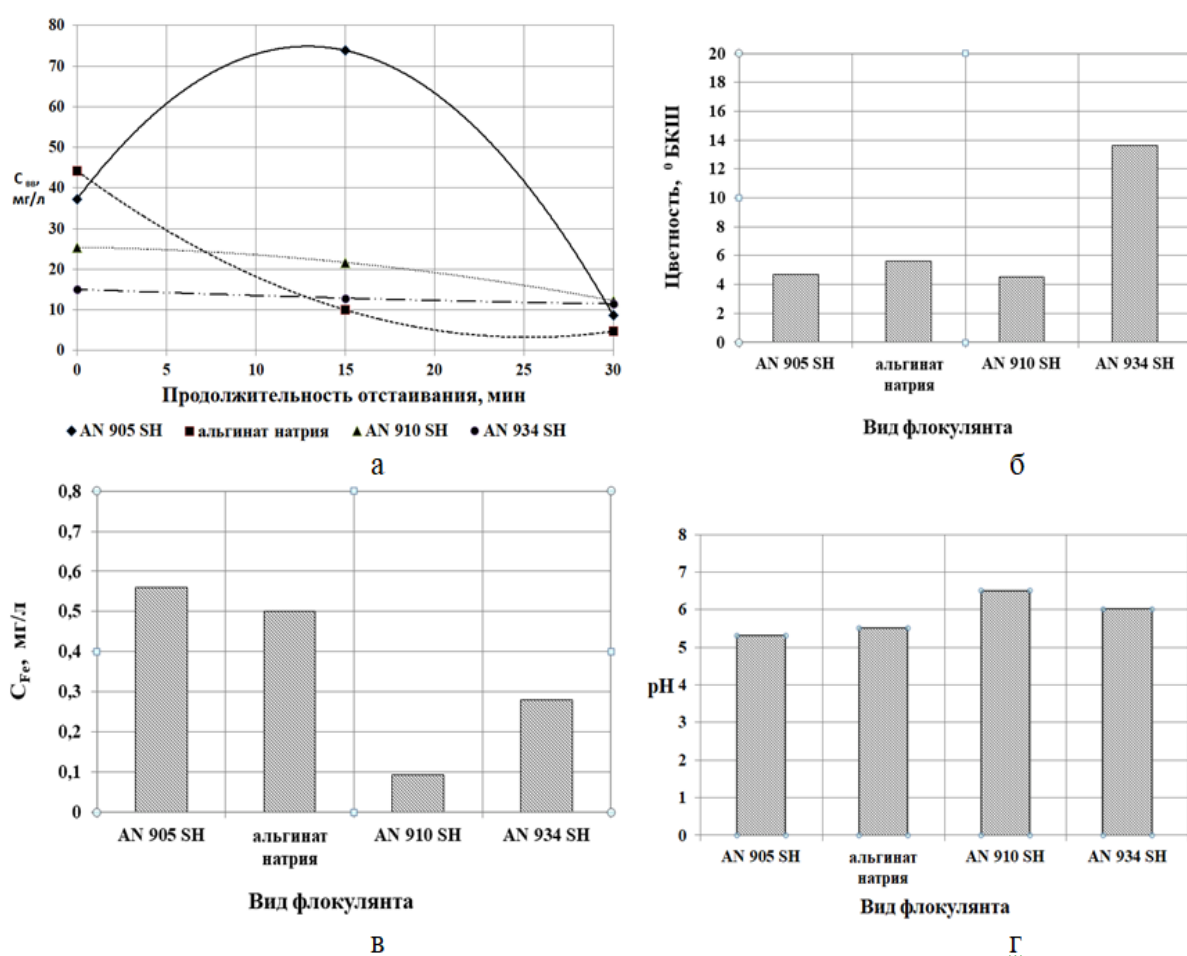


Рис. 4 Влияние типа флокулянта на качество очищенной воды в период паводка: анионные флокулянты Floram AN компании «SNF FLOERGER» в сравнении с альгинатом натрия ($D_k=40$ мг/л Ferrix-3, $D_f=0,5$ мг/л, $D_c=25$ мг/л): а – осветление воды; б – цветность; в – остаточное железо; г – pH

Наиболее эффективным в этой группе (рис. 4) оказался флокулянт AN 912 SH; удовлетворяет требованиям по всем показателям. Хотим отметить, что природный флокулянт альгинат натрия показал очень близкий результат по цветности, по гидравлической крупности. Проблема несколько сниженного рН и

небольшое превышение концентрации остаточного железа требует дополнительных исследований и предположительно решится подщелачиванием и снижением дозы коагулянта на 5-10 мг/л, так как есть запас эффективности по цветности и взвешенным веществам.

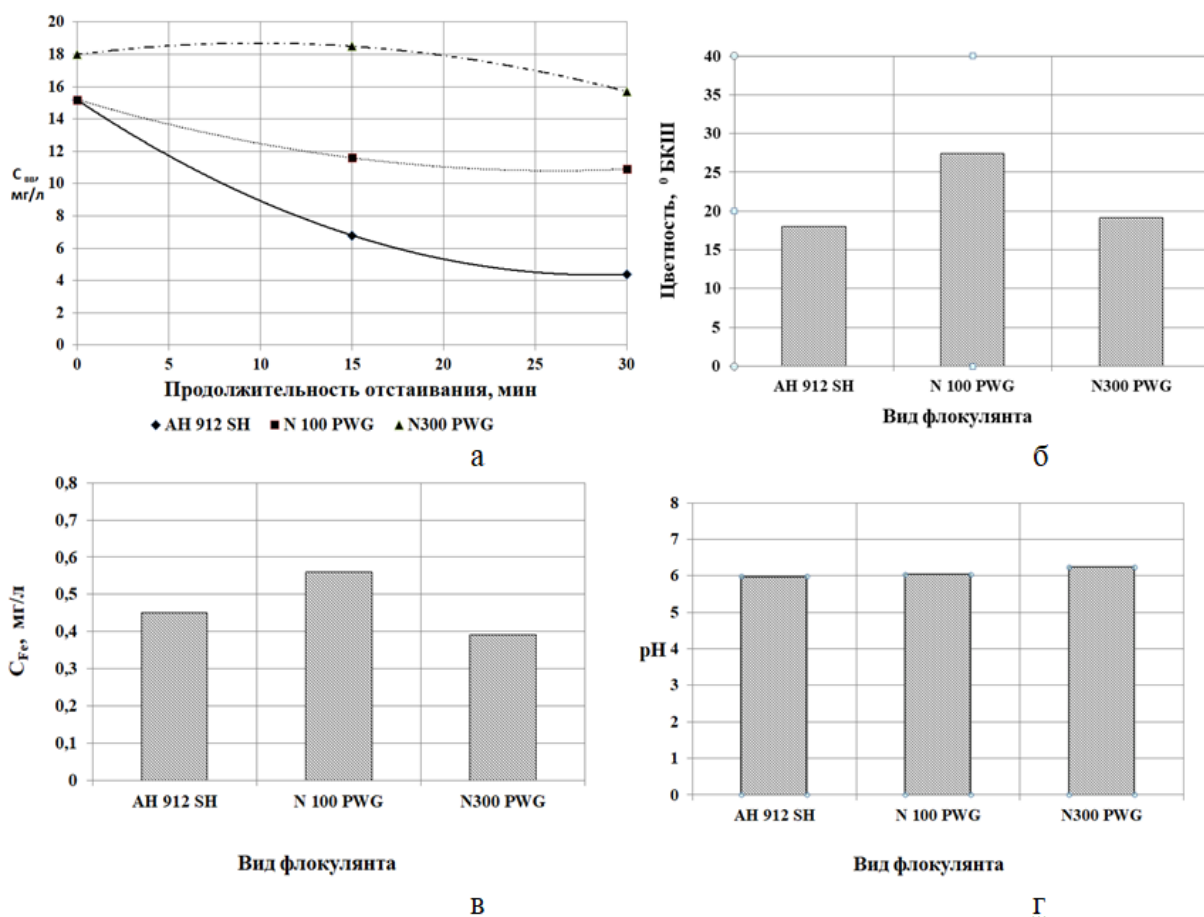


Рис. 5. Влияние типа флокулянта на качество очищенной воды в период паводка: неионные компании Floram АН компании «SNF FLOERGER»; Superfloc N - компании Kemira (Дк=40 мг/л Ferrix-3, Дф=0,5 мг/л, Дс=25 мг/л): а – осветление воды; б – цветность; в – остаточное железо, г – рН

Неионные флокулянты показали неудовлетворительный результат: сформировавшиеся хлопья мелкие, медленно осаждаемые. Подобные мелкие хлопья задерживаются в толще воды, выносятся из отстойника и задерживаются в слое фильтрующей загрузки. Это приводит к росту потери напора и уменьшению длительности фильтроцикла. Хлопья, формирующиеся при коагуляции, должны в значи-

тельной мере удаляться на этапе отстаивания, а на фильтрование идет вода, содержащая лишь следы хлопьев. Скорость фильтрования зависит от требуемого качества осветленной воды и типа применяемого фильтра и может составлять 5—20 м/ч. На реальных очистных сооружениях скорость фильтрации будет значительно снижена из-за размеров частиц в данном случае (рис. 5 а). По сравнению с

предыдущими результатами, остаточная цветность достаточно высокая, хотя и укладывается в норматив 20⁰ БКШ.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Наиболее эффективными реагентами для водоподготовки в Архангельской области являются анионные флокулянты с низкой и средней плотностью заряда: AN910, A130, альгинат натрия, катионный со средней плотностью заряда FO4440 совместно с коагулянтом Ferix-3.

2. Зависимости эффективности коагуляции от молекулярной массы флокулянта не прослеживается.

3. Экспериментально доказана эффективность применения коагулянта Ferix-3 для очистки речной воды с высокой цветностью, содержанием природных органических соединений и низкой щелочностью, совместно с современными флокулянтами;

4. Экспериментально подтверждена эффективность применения, в качестве флокулянта, природной соли альгината натрия, производимой в Архангельской области в качестве пищевой добавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адельшин А. Б., Нуруллин Ж. С., Бусарев А. В., Селюгин А. С. К вопросу моделирования процессов подготовки питьевой воды // Известия КазГАСУ. 2010.-№2.-С. 206 – 212.
2. Бабенков Е. Д. Очистка воды коагулянтами. М.: Наука, 1977. 356 с.
3. Белозерова Т.И., Бойкова Т.Е., Шевцов М.В. Особенности технологии подготовки воды в условиях Севера // Научно-технические ведомости Севмашвтуза. 2016.-№1.-С. 3-6.
4. Богданович Н.И., Бойкова Т.Е., Мауричева Т.С. Математическая модель процесса коагуляции в условиях низких температур // Сборник материалов VI Всероссийской отраслевой научно-практической конференции «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности» г. Екатеринбург. 2018 г. С. 31 – 37.
5. Бойкова Т.Е., Шевцов М.В. Эффективность применения коагулянтов и флокулянтов в технологии водоподготовки в целлюлозно-бумажной промышленности в условиях севера // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2017: сборник материалов конференции. – Архангельск САФУ, 2017. С. 298 – 302.
6. Бойкова Т.Е. Оптимизация водоподготовки цветных природных вод // сборник материалов научно-практической конференции «Яковлевские чтения: XIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева». Москва, 2018. С. 24 –30.
7. Бойкова Т.Е., Богданович Н.И., Канарский А.В. Оценка эффективности применения реагента Ferix-3 для очистки поверхностной воды при низкой температуре // Вестник технологического университета. 2018.-№7.-С. 41-45.
8. Братская С.Ю., Червонецкий Д.В., Перфильев А.В., Юдаков А.А., Авраменко В.А. Применение хитозана и его производных в питьевом водоснабжении и переработке сточных вод различного состава // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. 2010.-№2.- С. 58-63
9. Вейцер Ю. И., Минц Д. М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. М.: Стройиздат. 1984. 200 с.
10. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007,- 240 с.
11. ГН 2.2.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Минздрав России, 2003.
12. Драгинский В.Л., Алексеева А.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. Науч. изд. М. 2005. 576 с.
13. Комиссаренков А.А., Пругло Г.Ф., Федоров В.А., Федорова О.В. Основы водоподготовки в целлюлозно-бумажной промышленности и в теплоэнергетике. СПб ГТУРП, 2012. 98 с.
14. Коряйкина А. В., Аюкаев Р. И. Применение биотехнологий для очистки высокоцветных природных вод из поверхностных источников в условиях Севера // Известия КазГАСУ. 2010.-№1.-С. 245 – 251.
15. Линевич С.Н., Гетманцев С.В. Коагуляционный метод водообработки. Теоретические основы и практическое использование. М.: Наука, 2007. – 167 с.
16. Обадин Д. Н. Интенсификация процесса контактного осветления высокоцветных вод : дис. канд. техн. наук: Екатеринбург, УПИ, 2007 200 с.
17. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. Том 1. Женева, Всемирная организация здравоохранения. 2004.
18. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. М.: Стройиздат, ВНИИ ВОДГЕО. 1973.

19. Похил Ю.Н., Мамаев В.В., Валуйских И.В. Внедрение инновационных технологий на объектах водоснабжения города Новосибирска // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения, ООО "Синергия ПРЕСС". М. 2015.-№2.-С. 16-24
20. Самбурский Г.А., Доканина Ю.В. Есть ли альтернатива неорганическим коагулянтам для питьевого водоснабжения // Вестник МИТХТ. 2015. Т.2 Вып.3. С. 44 – 52.
21. СТО 70238424.27.100.013-2009 Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условия создания. Нормы и требования.-2009
22. Шиблева Т.Г., Воронцова Н.В., Солобоева Г.В., О влиянии магнитной обработки на основные стадии коагуляционной очистки воды. Вестник Тюменского государственного университета. 2007.-№3.-С. 54-57.
23. H. Aylin Devrimci, A. Mete Yuksel, F. Dilek Sanin, Algal alginate: A potential coagulant for drinking water treatment. Desalination. 2012 p. 16-21
24. Prasanna Natesh, Sricharan, Iyankumar, Vishnu Prasanna. A novel method of algal based water treatment by natural coagulant "alginates". International Journal of Science and Research (IJSR). Volume 6 Issue 9, September 2017. p. 769-775
25. Use of calcium alginate as a coagulant during water treatment, ÇORUH, Hale Aylin M.Sc., Environmental Engineering Department Supervisor: Assoc. Prof. Dr. F. Dilek Sanin, September 2005, 185

Рукопись поступила в редакцию 7.12.2018

THE USE OF FLOCCULANTS IN WATER TREATMENT PROCESS

T.E. Boykova, N.I. Bogdanovich, T.S Mauricheva

The schemes of water treatment applied at most the enterprises of the Arkhangelsk region are designed last century. Treated water at the exit from constructions does not meet the new requirements. In work results of a pilot study of efficiency of use of modern reagents are stated. Initial water for a research from superficial sources: Northern Dvina, Solza, Vychehga, with high chromaticity at small turbidity and alkalinity. As coagulant Ferix-3 as one of perspective is chosen (according to preliminary experiments). Together with it tested the whole range of flocculant of various brands of production Finland, Switzerland, France. The comparative research of efficiency of flocculant on the base of synthetic polymers and natural compound of alginate of sodium is conducted.

References

1. Adel'shin A. B., Nurullin ZH. S., Busarev A. V., Selyugin A. S. K voprosu modelirovaniya processov podgotovki pit'evoy vody // Izvestiya KazGASU. 2010. №2 S.206 – 212
2. Babenkov E. D. Oчistka vody koagulyantami. – М.: Nauka, 1977. 356 s.
3. Belozerova T.I., Bojkova T.E., SHEvcov M.V. Osobennosti tekhnologii podgotovki vody v usloviyah Severa // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sevmashvtuza, 2016 g №1, s.3-6
4. Bogdanovich N.I., Bojkova T.E., Mauricheva T.S. Matematicheskaya model' processa koagulyacii v usloviyah nizkih temperatur // Sbornik materialov VI Vserossijskoj otraslevoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Perspektivy razvitiya tekhniki i tekhnologij v cellyulozno-bumazhnoj i lesopererabatyvayushchej promyshlennosti» – g. Ekaterinburg, 2018 g. S.31 – 37
5. Bojkova T.E., SHEvcov M.V. Efficektivnost' primeneniya koagulyantov i flokulyantov v tekhnologii vodopodgotovki v cellyulozno-bumazhnoj promyshlennosti v usloviyah severa // Lomonosovskie nauchnye chteniya studentov, aspirantov i molodyh uchenyh – 2017: sbornik materialov konferencii. – Arhangel'sk SAFU, 2017. S.298 – 302
6. Bojkova T.E. Optimizaciya vodopodgotovki cvetnyh prirodnyh vod // sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferencii «Yakovlevskie chteniya: XIII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya, posvyashchennaya pamyati akademika RAN S.V. Yakovleva» – Moskva, 2018. S. 24 – 30
7. Bojkova T.E., Bogdanovich N.I., Kanarskij A.V. Ocenka ehffektivnosti primeneniya reagenta Ferix-3 dlya oчistki poverhnostnoj vody pri nizkoj temperature // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2018, №7. s.41-45
8. Bratskaya S.YU., CHervoneckij D.V., Perfil'ev A.V., YUdakov A.A., Avramenko V.A. Primenenie hitozana i ego proizvodnyh v pit'evom vodosnabzhenii i pererabotke stochnyh vod razlichnogo sostava // Rybprom: tekhnologii i oborudovanie dlya pererabotki vodnyh bioresursov. Moskva, 2010, №2, s.58-63

9. Vejcer YU. I., Minc D. M. Vysokomolekulyarnye flokulyanty v processah oчитки prirodnyh i stochnyh vod. – M.: Strojizdat, 1984. 200 s.
10. Vodopodgotovka: Spravochnik. /Pod red. d.t.n., dejstvitel'nogo chlena Akademii promyshlennoj ehkologii S.E. Belikova. M.: Akva-Term, 2007. 240 s.
11. GN 2.2.5.1315-03. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v vode hozyajstvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya. M.: Minzdrav Rossii, 2003.
12. Draginskij V.L., Alekseeva A.P., Getmancev S.V. Koagulyaciya v tekhnologii oчитки prirodnyh vod. Nauch. izd. – M., 2005. – 576 s.
13. Komissarenkov A.A., Pruglo G.F., Fedorov V.A., Fedorova O.V. Osnovy vodopodgotovki v cellyulozno-bumazhnoj promyshlennosti i v teploehnergetike. – SPb GTURP, 2012. – 98 s.
14. Koryajkina A. V., Ayukaev R. I. Primenenie biotekhnologij dlya oчитки vysokocvetnyh prirodnyh vod iz poverhnostnyh istochnikov v usloviyah Severa // Izvestiya KazGASU. 2010. №1. S. 245 – 251
15. Linevich S.N., Getmancev S.V. Koagulyacionnyj metod vodoobrabotki. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe ispol'zovanie. M.: Nauka, 2007. – 167s.
16. Obadin D. N. Intensifikaciya processa kontaktnogo osvetleniya vysokocvetnyh vod : dis. kand. tekhn. nauk: Ekaterinburg, UPI, 2007 200 s.
17. Rukovodstvo po obespecheniyu kachestva pit'evoy vody. Tom 1. ZHeneva, Vsemirnaya organizaciya zdavoohraneniya, 2004 g.
18. Rukovodstvo po himicheskomu i tekhnologicheskomu analizu vody. M.: Strojizdat, VNII VODGEO, 1973.
19. Pohil YU.N., Mamaev V.V., Valujskih I.V. Vnedrenie innovacionnyh tekhnologij na ob'ektah vodosnabzheniya goroda Novosibirska // Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya, ООО "Sinergiya PRESS". M., 2015. №2. S. 16-24
20. Samburskij G.A., Dokanina YU.V. Est' li al'ternativa neorganicheskim koagulyantam dlya pit'evogo vodosnabzheniya // Vestnik MITHT. 2015. T.2 Vyp.3. S. 44 – 52
21. STO 70238424.27.100.013-2009 Vodopodgotovitel'nye ustanovki i vodno-himicheskij rezhim TEHS. Usloviya sozdaniya. Normy i trebovaniya.
22. Shibleva T.G., Voroncova N.V., Soloboeva G.V., O vliyanii magnitnoj obrabotki na osnovnye stadii koagulyacionnoj oчитки vody. Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. 2007.-№3.-S. 54-57.-2009.
23. H. Aylin Devrimci, A. Mete Yuksel, F. Dilek Sanin, Algal alginate: A potential coagulant for drinking water treatment. Desalination. 2012 p.16-21.
24. Prasanna Natesh, Sricharan, Iyankumar, Vishnu Prasanna. A novel method of algal based water treatment by natural coagulant “alginates”. International Journal of Science and Research (IJSR). Volume 6 Issue 9, September 2017, p.769-775
25. Use of calcium alginate as a coagulant during water treatment, ÇORUH, Hale Aylin M.Sc., Environmental Engineering Department Supervisor: Assoc. Prof. Dr. F. Dilek Sanin, September 2005, 185 p.