



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 628.161

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.141

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОАГУЛЯНТОВ  
ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА***Т.Е. Бойкова<sup>1</sup>, ст. преподаватель**Н.И. Богданович<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.**К.Б. Воронцов<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.*

<sup>1</sup> Филиал Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова в г. Северодвинске, ул. Капитана Воронина, д. 6, г. Северодвинск, Архангельская обл., Россия, 164520; e-mail: t.boykova@narfu.ru

<sup>2</sup> Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.bogdanovich@narfu.ru, k.vorontsov@narfu.ru

Исследованы процессы водоподготовки в условиях предприятия целлюлозно-бумажной промышленности. Выявлены недостатки, существующие в схеме очистки воды на фильтроочистных сооружениях целлюлозно-бумажного комбината в Архангельской области: влияние сезонных колебаний качества воды на эффективность очистки, содержание остаточного алюминия и химическое потребление кислорода в обработанной воде. Для повышения качества водоподготовки предложено заменить используемый реагент на один из современных коагулянтов. В лабораторном эксперименте работали по методике пробной коагуляции воды р. Северная Двина при температуре 15...20 °С. Отбор проб, определение исходных показателей качества воды и контроль процесса по остаточным железу и алюминию, цветности, рН, химическому потреблению кислорода выполнены по стандартным методикам. Исходная речная вода имела высокую цветность, малую мутность, низкую щелочность и высокое содержание органических природных соединений. Изучены условия применения реагентов для коагуляции и влияние их дозы на рН воды. Определена эффективность применения реагентов на основе полиоксихлорида алюминия (PAX XL100, UltraPAC-V1, UltraPAC-V2, ПОХА), сернокислого алюминия и соли трехвалентного железа – Feгix-3. Выполнен сравнительный анализ эффективности действия коагулянтов между собой и с применяемым по стандартной схеме сернокислым алюминием. Отмечено, что использование коагулянта Feгix-3 в неоптимальных условиях (низкие значения рН,

---

*Для цитирования:* Бойкова Т.Е., Богданович Н.И., Воронцов К.Б. Эффективность применения коагулянтов при водоподготовке в целлюлозно-бумажной промышленности в условиях Севера // Лесн. журн. 2019. № 1. С. 141–152. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.141

недостаточная или избыточная доза реагента) приводит к увеличению цветности обработанной воды в несколько раз по сравнению с исходными показателями. Установлено, что при применении сернокислого алюминия значительно уменьшается рН воды из-за ее невысокого щелочного запаса, при этом эффективность коагуляции снижается. Для решения этой проблемы необходимо увеличивать дозировку щелочного реагента. Экспериментальные данные подтверждают большую эффективность и глубину очистки в случае использования ПОХА по сравнению с другими реагентами. Доказана целесообразность замены сернокислого алюминия на ПОХА при очистке воды с высокой цветностью, низкими мутностью и щелочностью и большим содержанием природных органических соединений.

*Ключевые слова:* взвешенные вещества, рН, цветность, осветление природной воды, коагуляция, полиоксихлорид алюминия.

### *Введение*

Вода в целлюлозно-бумажной промышленности – важный компонент, который используется на всех стадиях производства: при варке целлюлозы, промывке, сортировке и др. На выработку 1 т бумаги расходуется от 100 до 200 м<sup>3</sup> воды. Для обеспечения необходимого качества целлюлозы и изделий на ее основе требуется чистая вода, содержание примесей в которой строго лимитировано. Повышенные требования к качеству воды, используемой в технологии целлюлозно-бумажного производства, обусловлены тем, что целлюлоза является активным поглотителем различных примесей, растворенных и суспендированных в воде [8]. На поверхности целлюлозы имеется большое количество функциональных групп, посредством которых она вступает в химическое взаимодействие с растворенными в воде веществами, а развитая поверхность и пористость волокнистой массы целлюлозы обуславливают ее хорошие сорбционные свойства. Органические примеси в воде придают целлюлозе окраску, снижают белизну бумаги, ухудшая качество получаемой продукции.

Для целлюлозно-бумажного производства значимыми являются следующие показатели качества технологической воды:

1. Цветность определяется содержанием в воде растворенных органических гумусовых кислот и измеряется в градусах платиново-кобальтовой шкалы (°ПКШ). Бесцветная вода необходима для выработки высококачественных видов целлюлозы (кордной и ацетатной) и бумаги. Цветность невозможно ликвидировать отстаиванием и фильтрованием, для ее снижения используют коагуляцию с последующей фильтрацией [2, 10].

2. На рН существенное влияние оказывает наличие в воде гумусовых веществ и других продуктов разложения растительных остатков. Показатель значительно изменяется в течение года и даже в течение суток. При отсутствии контроля за этим показателем идет перерасход наполнителей, проклеивающих веществ, красителей и других материалов.

3. Окисляемость – косвенный показатель загрязненности органическими и неорганическими веществами, выражающийся количеством потреб-

ленного кислорода ( $\text{мгO}_2/\text{л}$ ). Значительное потребление кислорода свидетельствует о возможном загрязнении воды.

4. Остаточный алюминий – это концентрация ионов  $\text{Al}^{+3}$ . В очищенной воде, в водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения этот показатель не должен превышать  $0,2 \text{ мг/л}$  [5], в питьевой воде центральных систем водоснабжения –  $0,5 \text{ мг/л}$  [12]. При низких температурах процесс коагуляции протекает не всегда эффективно, и даже повышение дозы вводимого коагулянта не приводит к лучшему осветлению, в воде остаются ионы  $\text{Al}^{+3}$  в концентрации, превышающей предельно-допустимые значения [7, 13, 15].

Цели исследования – подбор наиболее эффективного современного коагулянта для осветления воды при водоподготовке на целлюлозно-бумажном комбинате; контроль за показателями pH, цветности и содержанием взвешенных веществ в обрабатываемой воде; снижение уровня органических веществ и цветности природной поступающей воды при низких температурах.

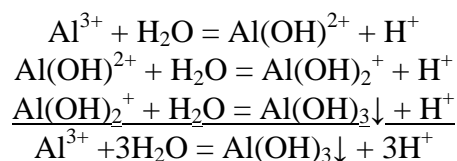
#### *Объекты и методы исследования*

Воду для исследования отбирали из р. Северная Двина в районе водозабора фильтроочистных сооружений ОАО «Архангельский ЦБК» – АЦБК (г. Новодвинск Архангельской области). АЦБК использует для производственных нужд воду из р. Мечки, вытекающей из болот и впадающей в Северную Двину. Вода поступает по системе речных водоводов на фильтроочистные сооружения станции водоочистки комбината, где реализуется двухступенчатая схема. Очистные сооружения, введенные в эксплуатацию еще в 1940 г., работают по стандартной схеме [7]. К поступившей в смеситель воде добавляется сначала коагулянт – сернокислый алюминий (СА) в количестве  $7,2 \%$ , далее – гипохлорит натрия для первичного хлорирования и окисления органических веществ, которые тормозят процесс коагуляции. Добавка последнего позволяет снизить дозу коагулянта и обеспечивает хорошее санитарное состояние оборудования станции. Туда же вводится щелочной реагент – кальцинированная сода, в конце смесителя – флокулянт. Вода с реагентами поступает в нижнюю часть камер хлопьеобразования, двигаясь вверх, при этом скорость потока замедляется, происходит процесс образования и укрупнения хлопьев. Коагулированная вода перетекает в двухъярусный четырехкоридорный отстойник для осаждения хлопьев. После отстойника осветленная вода поступает на скорые фильтры для удаления мелких хлопьев [7].

На выходе из водоочистных сооружений показатели воды должны соответствовать требованиям [11, 12]. Но есть некоторые трудности в получении воды нужного качества по ряду показателей: цветность, pH, ХПК, остаточный алюминий [10, 15]. Это связано с тем, что вода северных рек имеет высокую цветность (до  $200 \text{ }^\circ\text{ПКШ}$  в период осенне-весеннего паводка) при малой мутности и низкую температуру ( $1...3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) в течение 8 мес., что затрудняет процесс осветления методом коагуляции [2, 3, 9]. Одним из решений, направленных на ликвидацию указанных затруднений, является применение современных высокоэффективных реагентов.

Для экспериментов использовали современные, более эффективные, коагулянты [3, 19, 21–23] различных марок: сернокислый алюминий (СА); полиоксихлорид алюминия с содержанием основного вещества ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 30 % (ПОХА); UltraPAC V-1 и UltraPAC V-2 различной плотности; PAX XL100 с содержанием основного вещества ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 17 % (на основе ПОХА); Ferix-3 на основе сернокислого железа.

При добавлении в обрабатываемую воду солей алюминия происходит гидролиз, при этом образуется плохо растворимый в воде гидроксид алюминия, который оказывает коагулирующее воздействие на загрязнения коллоидной степени дисперсности:



Данная реакция может полностью протекать либо только при условии нейтрализации образующейся кислоты, либо за счет карбонатной щелочности воды, либо за счет добавки щелочных реагентов (гашеной извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , гидроксида натрия) с доведением pH до оптимальных значений [6, 16]. Поэтому в ходе эксперимента контролировали pH, при необходимости добавляли NaOH (10 %).

Цветность исследуемой воды определяли фотоколориметрическим методом [4], pH – мультитестом Анион 4100, ХПК – арбитражным методом [4].

Эксперимент проходил при температуре исследуемой воды 5 °С. Воду охлаждали и поддерживали необходимую температуру воды в лаборатории. В образце обрабатываемой воды (пробоотбор 10 октября 2017 г, период осеннего паводка) сразу исследовали основные показатели: цветность – 150 °ПКШ; pH 7,03; содержание взвешенных веществ – 46,2 мг/л; ХПК – 57,6 мг $\text{O}_2$ /л (при норме 15 мг $\text{O}_2$ /л для водоемов питьевого водопользования) [12]. Обработку проводили следующим образом: в стакан вместимостью 250 мл наливали 200 мл исследуемой природной воды, в которую при постоянном быстром перемешивании (180 об/мин) вносили заданный объем раствора коагулянта (стадия гидролиза). Пробу перемешивали в течение 1 мин при непрерывном контроле pH (при необходимости осуществляли корректировку раствором NaOH). После этого переключали мешалку на медленное перемешивание – 50 об/мин (период хлопьеобразования) в течение 10 мин. По окончании процесса пробу переливали в мерный цилиндр вместимостью 250 мл и измеряли высоту слоя осадка, содержание взвешенных веществ в надосадочном слое каждые 15 мин, а также основные показатели качества воды после фильтрования: pH, цветность, ХПК, концентрацию взвешенных веществ. По разности показателей до и после обработки рассчитывали эффективность обесцвечивания и снижения ХПК. В эксперименте варьировали дозировку коагулянта от 0 до 100 мг/л. pH поддерживали не ниже 5, так как при более низких значениях укрупнения хлопьев не происходило и применение коагулянта становилось неэффективным.

## Результаты исследования и их обсуждение

Результаты эксперимента представлены в табл. 1, 2 и на рис. 1, 2.

Таблица 1

**Динамика изменения рН и цветности профильтрованной пробы воды  
в зависимости от дозы коагулянта**

№ опыта	Доза коагулянта, мг/л	рН						Цветность после фильтрации, °ПКШ					
		РАХ XL100	UltraPAC V-1	UltraPAC V-2	Ferix-3	СА	ПОХА	РАХ XL100	UltraPAC V-1	UltraPAC V-2	Ferix-3	СА	ПОХА
1	10	7,00	6,86	6,88	–	5,87	6,86	52	132	117	–	18	140
2	20	5,84	6,51	6,54	6,25	5,02	6,52	18	22	31	312	3	32
3	30	5,72	6,42	6,40	–	4,60	6,31	1	13	19	–	2	14
4	40	4,93	6,21	6,14	5,67	4,51	5,97	5	–	13	104	1	16
5	50	4,54	6,10	6,01	5,06	4,48	5,89	5	20	9	17	1	6
6	60	4,67	5,97	5,82	4,32	4,42	5,69	4	–	9	16	1	7
7	70	4,36	5,82	5,77	3,36	4,28	5,50	51	6	8	16	1	5
8	80	4,17	5,63	5,37	3,28	4,27	5,30	113	–	12	10	1	–
9	90	4,66	5,41	5,53	–	4,41	5,26	81	–	10	–	15	84
10	100	4,12	5,22	5,31	3,12	4,34	5,23	102	77	35	8	3	–

Таблица 2

**Динамика формирования и осаждения взвешенных веществ (ВВ)  
в очищаемой воде**

№ опыта	Доза коагулянта, мг/л	Содержание ВВ, мг/л														
		на начало осветления					через 15 мин					через 30 мин				
		РАХ XL100	UltraPAC V-2	Ferix-3	СА	ПОХА	РАХ XL100	UltraPAC V-2	Ferix-3	СА	ПОХА	РАХ XL100	UltraPAC V-2	Ferix-3	СА	ПОХА
1	10	22	11	–	67	13	22	11	–	46	13	21	12	–	18	14
2	20	25	24	16	52	47	28	18	16	41	25	25	17	16	3	23
3	30	28	18	–	40	63	30	12	–	14	24	24	7	–	2	13
4	40	22	20	32	37	79	23	8	31	9	30	22	6	31	1	12
5	50	22	22	51	35	57	24	9	43	4	34	23	5	21	1	18
6	60	25	35	51	33	48	26	9	34	4	20	24	7	21	1	15
7	70	23	37	76	29	56	23	10	21	2	34	23	7	15	1	23
8	80	23	38	56	19	–	24	18	11	2	–	23	15	10	1	–
9	90	24	29	–	28	57	25	19	–	1	48	24	15	–	15	46
10	100	24	37	64	36	36	25	24	13	2	–	25	15	8	3	–

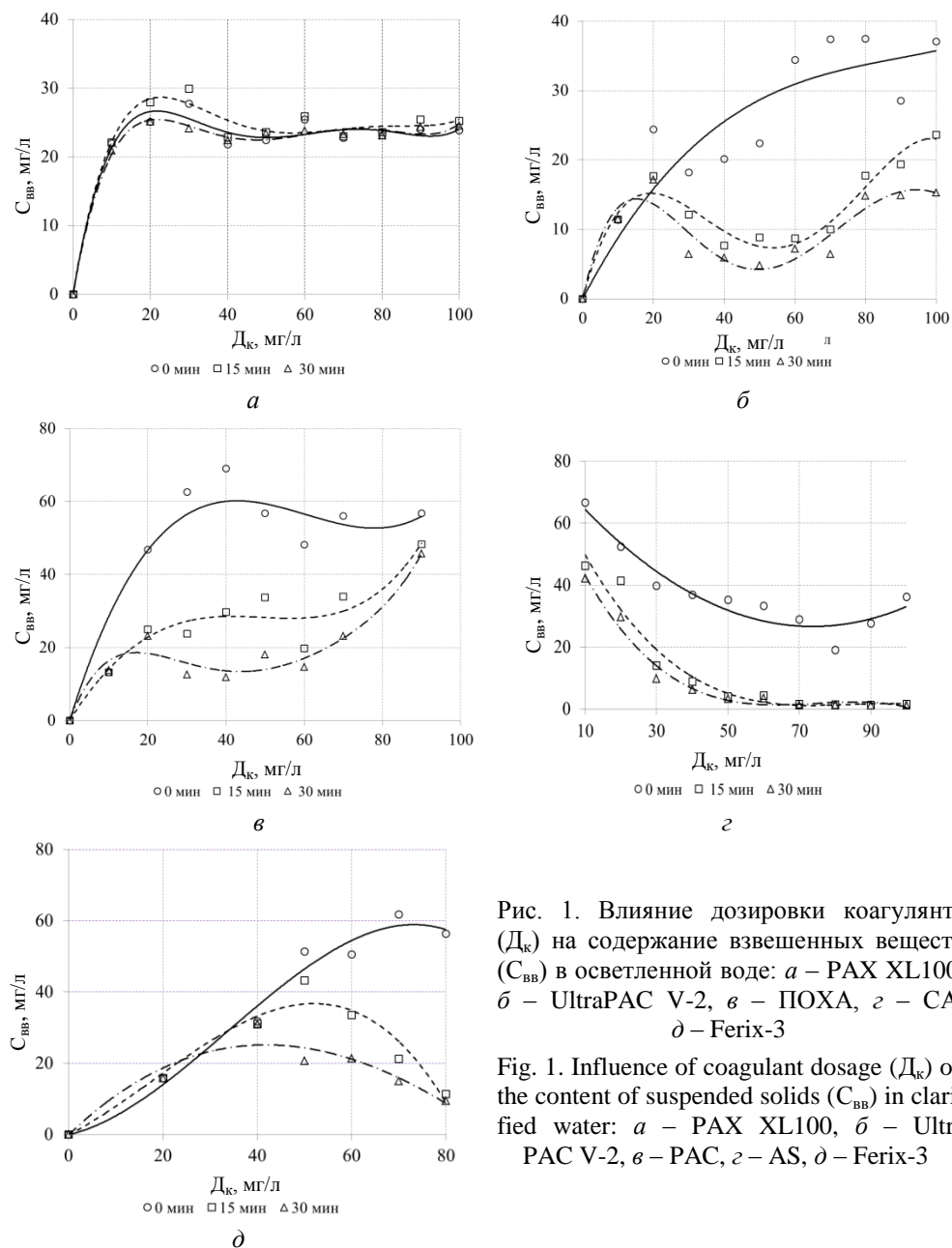


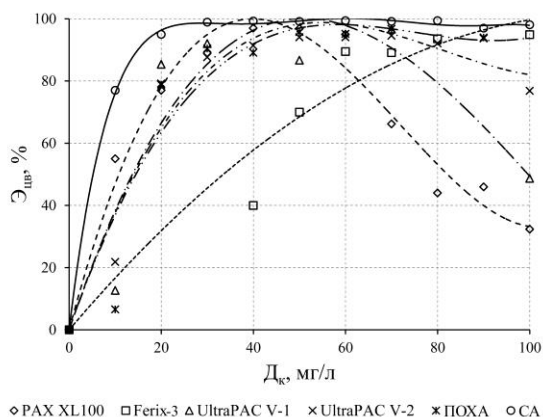
Рис. 1. Влияние дозировки коагулянта ( $D_k$ ) на содержание взвешенных веществ ( $C_{vv}$ ) в осветленной воде: а – PAX XL100, б – UltraPAC V-2, в – ПОХА, г – СА, д – Ferix-3

Fig. 1. Influence of coagulant dosage ( $D_k$ ) on the content of suspended solids ( $C_{vv}$ ) in clarified water: а – PAX XL100, б – UltraPAC V-2, в – PAC, г – AS, д – Ferix-3

При оценке эффективности коагулянта выбирали наименьшее значение  $D_k$ , достаточное для дестабилизации коллоидной системы и образования осадка. Требуемый эффект был достигнут при использовании ПОХА при дозировке коагулянта уже 20 мг/л (табл. 2), при этом содержание взвешенных веществ ( $C_{vv}$ ) в надосадочном слое составляло 47 мг/л на начало осаждения, через 15 мин – 25 мг/л, через 30 мин – 23 мг/л. Это свидетельствует об образовании крупных, хорошо осаждаемых хлопьев. Подобные результаты демонстрирует и СА при той же дозировке 20 мг/л (52→41→3 мг/л), но при этом pH

Рис. 2. Влияние дозировки коагулянта ( $D_k$ ) на эффективность очистки воды ( $\mathcal{E}_{цв}$ ) по цветности

Fig. 2. Influence of coagulant dosage ( $D_k$ ) on the efficiency of water purification ( $\mathcal{E}_{цв}$ ) by chromaticity



уже приближается к критической отметке 5,02. Коагулянт UltraPAC V-2 дает сформированные осаждаемые хлопья при дозировке в 3–4 раза больше (60...80 мг/л). При этом также не требуется подщелачивания. Коагулянт Ferix-3 становится эффективным при дозировке в 2,5 раза большей, т. е. 50 мг/л (51→43→21 мг/л), но pH также приближается к критической отметке 5,06. После добавления коагулянтов PAX XL100 и UltraPAC-V1 сформированных осаждаемых хлопьев на данной исходной воде при низкой температуре не обнаружено. Кроме того, PAX XL100 значительно уменьшил pH обрабатываемой пробы.

Максимальная эффективность по формированию крупных хлопьев достигнута коагулянтom ПОХА в дозировке 40 мг/л при содержании взвешенных веществ 79 мг/л на начало осветления. СА также эффективен при данной дозировке, но содержание взвешенных веществ на начало осветления – 37 мг/л, при этом хлопья хорошо осаждались. UltraPAC V-2 показывает максимум при дозировке в 1,5–2 раза больше (60...80 мг/л) и не требует подщелачивания, Ferix-3 при дозировке 70 мг/л снижает pH до 3,36, требуя значительного подщелачивания.

Экспериментальные данные по ХПК очищенной воды показали, что по эффективности снижения этого показателя лучший результат получен при использовании коагулянтов СА, Ferix-3 (эффективность 75 % при дозировке 80 мг/л), несколько хуже – ПОХА (72 % при дозировке 70 мг/л), остальные коагулянты снижают ХПК в пределах 52...56 % при той же дозировке. Необходимо отметить, что окисляемость пробы после ее обработки коагулянтами и фильтрования уменьшается значительно меньше, чем цветность: окисляемость – на 75 %, цветность – на 97...99 %. Это свидетельствует о наличии в данной природной воде большого количества неокрашенных органических веществ, не устранимых в процессе коагуляции.

#### Заключение

Анализ полученных в ходе эксперимента данных показал, что наиболее эффективны коагулянты СА и ПОХА, неплохие результаты получены также при использовании UltraPAC V-2. Однако более экономичным и экологичным оказался ПОХА. Применение коагулянта ПОХА позволит сократить дозу вводимого реагента, повысить эффективность осветления воды при значительно

меньшем снижении исходных значений рН среды, что приведет к экономии щелочного реагента.

Процесс коагулирования значительно ускорится, если в воду добавлять флокулянты, образующие с водой коллоидные дисперсные системы [1, 3, 14, 17, 18, 20]. Частицы флокулянта вместе с отрицательно заряженными частицами взвеси адсорбируются на хлопьях коагулянтов, что ускоряет укрупнение и осаждение хлопьев.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апельцина Е.И., Беляева С.Д., Короткова Е.В.* Исследование влияния свойств анионных флокулянтов на эффективность коагуляционной очистки природных цветных вод // Изв. Жилищ.-коммун. акад. гор. хоз-ва и экологии. 1999. № 3. С. 64–68.
2. *Бабенков Е.Д.* Очистка воды коагулянтами. М.: Наука, 1977. 356 с.
3. *Гандурина Л.В.* Органические флокулянты в технологии очистки природных и промышленных сточных вод и обработки осадка: аналит. обзор / ФГУП ВОДГЕО. М., 2002. 41 с.
4. *Гетманцев С.В., Нечаев И.А., Гандурина Л.В.* Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами. М.: АСВ, 2008. 272 с.
5. ГН 2.1.5.1315–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы. М., 2003. 154 с.
6. *Гончарук В.В., Герасименко Н.Г.* Электрокинетические свойства продуктов гидролиза основных сульфатов железа в условиях процесса водоподготовки // Химия и технология воды. 1996. Т. 18, № 3. С. 227–232.
7. *Зубакова Л.Б., Тевлина А.С., Даванков А.Б.* Синтетические ионообменные материалы. М.: Химия, 1978. 184 с.
8. *Комиссаренков А.А., Пругло Г.Ф., Федоров В.А., Федорова О.В.* Основы водоподготовки в целлюлозно-бумажной промышленности и теплоэнергетике: учеб.-метод. пособие. СПб.: СПбГТУРП, 2012. 98 с.
9. *Коряйкина А.В., Аюкаев Р.И.* Применение биотехнологий для очистки высокоцветных природных вод из поверхностных источников в условиях Севера // Изв. Казан. гос. архитектурно-строит. ун-та, 2010. № 1(13). С. 245–251.
10. *Лотош В.Е.* Экология природопользования: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2002. 540 с.
11. СанПиН 2.1.5.980–00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. М.: Минздрав России, 2000. 18 с.
12. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. М.: Информ.-изд. центр Минздрава России, 2002.
13. *Ebeling J.M., Sibrell P.L., Ogden S.R., Summerfelt S.T.* Evaluation of Chemical Coagulation–Flocculation Aids for the Removal of Suspended Solids and Phosphorus from Intensive Recirculating Aquaculture Effluent Discharge // Aquacultural Engineering. 2003. Vol. 29, iss. 1-2. Pp. 23–42. DOI: 10.1016/S0144-8609(03)00029-3
14. *Folkard G.K., Sutherland J.P., Shaw R.* Water Clarification Using *Moringa Oleifera* Seed Coagulant. London: Intermediate Technology Publications, 1999. Pp. 109–112.
15. *Letterman R.D., Driscoll Ch.T.* Survey of Residual Aluminum in Filtered Water // Journal AWWA. 1988. Vol. 80, iss. 4. Pp. 154–158. DOI: 10.1002/j.1551-8833.1988.tb03020.x



16. Letterman R.D., Pero R.W. Contaminants in Polyelectrolytes Used in Water Treatment // Journal AWWA. 1990. Vol. 82, iss. 11. Pp. 87–97. DOI: 10.1002/j.1551-8833.1990.tb07056.x

17. Muyibi S.A., Evison L.M. Coagulation of Turbid Water and Softening of Hard-Water with *Moringa Oleifera* Seeds // International Journal of Environmental Studies. 1996. Vol. 49, iss. 3. Pp. 247–259. DOI: 10.1080/00207239608711028

18. Narkis N., Rebhum M. Flocculation in Present of Organic Macromolecules of Natural Water and Secondary Effluents // Water Science and Technology. 1997. Vol. 36, iss. 4. Pp. 85–91. DOI: 10.1016/S0273-1223(97)00423-X

19. Park H., Lim S., Lee H., Woo D.-S. Water Blending Effects on Coagulation-Flocculation Using Aluminum Sulfate (alum), Polyaluminum Chloride (PAC), and Ferric Chloride (FeCl<sub>3</sub>) Using Multiple Water Sources // Desalination and Water Treatment. 2016. Vol. 57, iss. 16. Pp. 7511–7521. DOI: 10.1080/19443994.2015.1025583

20. Roussy J., Van Vooren M., Dempsey B.A., Guibal E. Influence of Chitosan Characteristics on the Coagulation and the Flocculation of Bentonite Suspensions // Water Research. 2005. Vol. 39, iss. 14. Pp. 3247–3258. DOI: 10.1016/j.watres.2005.05.039

21. Wei N., Zhang Z., Liu D., Wu Y., Wang J., Wang Q. Coagulation Behavior of Polyaluminum Chloride: Effects of pH and Coagulant Dosage // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2015. Vol. 23, iss. 6. Pp. 1041–1046. DOI: 10.1016/j.cjche.2015.02.003

22. Zhang Z., Wang J., Liu D., Li J., Wang X., Song B., Yue B., Zhao K., Song Y. Hydrolysis of Polyaluminum Chloride Prior to Coagulation: Effects on Coagulation Behavior and Implications for Improving Coagulation Performance // Journal of Environmental Sciences (China). 2017. Vol. 57. Pp. 162–169. DOI: 10.1016/j.jes.2016.10.014

23. Zhao Y.X., Phuntsho S., Gao B.Y., Yang Y.Z., Kim J.H., Shon H.K. Comparison of a Novel Polytitanium Chloride Coagulant with Polyaluminium Chloride: Coagulation Performance and Floc Characteristics // Journal of Environmental Management. 2015. Vol. 147. Pp. 194–202. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.09.023

Поступила 16.02.18

UDC 628.161

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.141

### **The Efficiency of Coagulants in Water Treatment in the Pulp and Paper Industry in the North**

*T.E. Boykova*<sup>1</sup>, Senior Lecturer

*N.I. Bogdanovich*<sup>2</sup>, Doctor of Engineering Sciences, Professor

*K.B. Vorontsov*<sup>2</sup>, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

<sup>1</sup>Severodvinsk Branch of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, ul. Kapitana Voronina, 6, Severodvinsk, Arkhangelsk Region, 164520, Russian Federation; e-mail: t.boykova@narfu.ru

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.bogdanovich@narfu.ru, k.vorontsov@narfu.ru

---

*For citation:* Boykova T.E., Bogdanovich N.I., Vorontsov K.B. The Efficiency of Coagulants in Water Treatment in the Pulp and Paper Industry in the North. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 1, pp. 141–152. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.141

Water treatment processes at a pulp and paper mill were studied. Weaknesses of the water purification scheme on the wastewater filter treatment facilities of the pulp and paper mill of Arkhangelsk region are revealed: influence of water quality seasonal fluctuations on the purification efficiency, content of residual aluminum, and chemical oxygen demand (COD) in the treated water. In order to improve the water treatment quality, it was offered to replace the used reagent with one of the modern coagulants. The experiment was made under the laboratory conditions by the procedure of trial coagulation of the Northern Dvina river water at a temperature about 15–20 °C. Sampling, definition of initial parameters of water quality, and control of residual iron and aluminum, chromaticity, pH, COD were carried out by the standard methods. The initial river water had high chromaticity, low turbidity, low alkalinity, and high content of organic natural compounds. Reagent application conditions and the influence of a reagent dosage on pH were studied. The usage efficiency of reagents based on polyaluminum chloride (PAX XL100, UltraPAC-V1, UltraPAC-V2, PAC), aluminum sulfate and ferric salt – Ferix-3 is defined. Comparative analysis of coagulant efficiency was made between the coagulants and with aluminum sulfate (AS) applied according to the standard scheme. Ferix-3 coagulant usage in suboptimal conditions (low pH values, insufficient or excess dosage of reagent) leads to increase in chromaticity of the treated water by several times in comparison with the initial parameters. AS usage leads to the significant decrease of water pH because of its low alkaline water supply, at the same time the coagulation efficiency decreases. It is important to increase alkaline reagent dosage in response to this problem. Experimental data confirms high efficiency of treatment with polyaluminum chloride (PAC) in comparison with other reagents. The relevance of replacement AS by PAC in water purification with high chromaticity, low turbidity and alkalinity, and high content of natural organic compounds is approved.

*Keywords:* suspended solids, pH, chromaticity, clarifying of natural water, coagulation, polyaluminum chloride.

#### REFERENCES

1. Apel'tsina E.I., Belyayeva S.D., Korotkova E.V. Issledovaniye vliyaniya svoystv anionnykh flokulyantov na effektivnost' koagulyatsionnoy ochistki prirodnykh tsvetnykh vod [Study the Influence of Anionic Flocculants Properties on the Efficiency of Coagulative Treatment of Natural Colored Water]. *Izvestiya Zhilishchno-kommunal'noy akademii gorodskogo khozyaystva i ekologii*, 1999, no. 3, pp. 64–68.
2. Babenkov E.D. *Ochistka vody koagulyantami* [Water Purification by Coagulants]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 356 p. (In Russ.)
3. Gandurina L.V. *Organicheskiye flokulyanty v tekhnologii ochistki prirodnykh i promyshlennykh stochnykh vod i obrabotki osadka: analit. obzor* [Organic Flocculants in the Technology of Natural and Industrial Wastewater Purification and Sludge Treatment: Analytical Overview]. Moscow, FGUP VODGEO Publ., 2002. 41 p. (In Russ.)
4. Getmantsev S.V., Nechayev I.A., Gandurina L.V. *Ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod koagulyantami i flokulyantami* [Industrial Wastewater Treatment with Coagulants and Flocculants]. Moscow, ASV Publ., 2008. 272 p. (In Russ.)
5. *Hygienic Standards 2.1.5.1315–03. Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'yektov khozyaystvenno-pit'yevogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya* [Hygienic Standards 2.1.5.1315–03. The Maximum Allowable Concentration (MAC) of Chemicals in Water of Water Bodies of Drinking and Household Water Use]. Moscow, 2003. 154 p.
6. Goncharuk V.V., Gerasimenko N.G. *Elektrokineticheskiye svoystva produktov gidroliza osnovnykh sul'fatov zheleza v usloviyakh protsessa vodopodgotovki* [Electrokinetic Properties of Hydrolysis Products of Basic Iron Sulfates under the Conditions of Water

Treatment]. *Khimiya i tekhnologiya vody* [Journal of Water Chemistry and Technology], 1996, vol. 18, no. 3, pp. 227–232.

7. Zubakova L.B., Tevlina A.S., Davankov A.B. *Sinteticheskiye ionoobmennyye materialy* [Synthetic Ion-Exchange Materials]. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 184 p. (In Russ.)

8. Komissarenkov A.A., Pruglo G.F., Fedorov V.A., Fedorova O.V. *Osnovy vodopodgotovki v tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti i teploenergetike: ucheb.-metod. posobiye* [Basics of Water Treatment in the Pulp and Paper Industry and Heat Power Engineering: Study Guide]. Saint Petersburg, HSTE Publ., 2012. 98 p. (In Russ.)

9. Koryaykina A.V., Ayukayev R.I. *Primeneniye biotekhnologiy dlya ochistki vysokotsvetnykh prirodnykh vod iz poverkhnostnykh istochnikov v usloviyakh Severa* [The Use of Biotechnologies for Purification of High Colored Natural Waters from Diffuse Sources in the North]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering], 2010, no 1(13), pp. 245–251.

10. Lotosh V.E. *Ekologiya prirodopol'zovaniya: ucheb. posobiye* [Ecology of Nature Management: Educational Textbook]. Ekaterinburg, UrGUPS Publ., 2002. 540 p. (In Russ.)

11. *SanPiN 2.1.5.980–00. Gigiyenicheskiye trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod* [Health and Hygiene Rules and Standards 2.1.5.980–00. Hygienic Requirements for Surface Water Protection]. Moscow, Minzdrav Rossii Publ., 2000. 18 p.

12. *SanPiN 2.1.4.1074–01. Pit'yevaya voda. Gigiyenicheskiye trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'yevogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Gigiyenicheskiye trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti sistem goryachego vodosnabzheniya* [Health and Hygiene Rules and Standards 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic Requirements for Water Quality of Drinking Water Supply Host Systems. Quality Control. Hygienic Requirements for the Safety Ensuring of Hot Water Supply Systems]. Moscow, Informatsionno-izdatel'skiy tsentr Minzdrava Rossii Publ., 2002.

13. Ebeling J.M., Sibrell P.L., Ogden S.R., Summerfelt S.T. Evaluation of Chemical Coagulation–Flocculation Aids for the Removal of Suspended Solids and Phosphorus from Intensive Recirculating Aquaculture Effluent Discharge. *Aquacultural Engineering*, 2003, vol. 29, iss. 1–2, pp. 23–42. DOI: 10.1016/S0144-8609(03)00029-3

14. Folkard G.K., Sutherland J.P., Shaw R. *Water Clarification Using Moringa Oleifera Seed Coagulant*. London, Intermediate Technology Publications, 1999, pp. 109–112.

15. Letterman R.D., Driscoll Ch.T. Survey of Residual Aluminum in Filtered Water. *Journal AWWA*, 1988, vol. 80, iss. 4, pp. 154–158. DOI: 10.1002/j.1551-8833.1988.tb03020.x

16. Letterman R.D., Pero R.W. Contaminants in Polyelectrolytes Used in Water Treatment. *Journal AWWA*, 1990, vol. 82, iss. 11, pp. 87–97. DOI: 10.1002/j.1551-8833.1990.tb07056.x

17. Muyibi S.A., Evison L.M. Coagulation of Turbid Water and Softening of Hard-Water with *Moringa Oleifera* Seeds. *International Journal of Environmental Studies*, 1996, vol. 49, iss. 3, pp. 247–259. DOI: 10.1080/00207239608711028

18. Narkis N., Rebhum M. Flocculation in Present of Organic Macromolecules of Natural Water and Secondary Effluents. *Water Science and Technology*, 1997, vol. 36, iss. 4, p. 85–91. DOI: 10.1016/S0273-1223(97)00423-X

19. Park H., Lim S., Lee H., Woo D.-S. Water Blending Effects on Coagulation-Flocculation Using Aluminum Sulfate (alum), Polyaluminum Chloride (PAC), and Ferric Chloride (FeCl<sub>3</sub>) Using Multiple Water Sources. *Desalination and Water Treatment*, 2016, vol. 57, iss. 16, pp. 7511–7521. DOI: 10.1080/19443994.2015.1025583

20. Roussy J., Van Vooren M., Dempsey B.A., Guibal E. Influence of Chitosan Characteristics on the Coagulation and the Flocculation of Bentonite Suspensions. *Water Research*, 2005, vol. 39, iss. 14, pp. 3247–3258. DOI: 10.1016/j.watres.2005.05.039

21. Wei N., Zhang Z., Liu D., Wu Y., Wang J., Wang Q. Coagulation Behavior of Polyaluminum Chloride: Effects of pH and Coagulant Dosage. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2015, vol. 23, iss. 6, pp. 1041–1046. DOI: 10.1016/j.cjche.2015.02.003

22. Zhang Z., Wang J., Liu D., Li J., Wang X., Song B., Yue B., Zhao K., Song Y. Hydrolysis of Polyaluminum Chloride Prior to Coagulation: Effects on Coagulation Behavior and Implications for Improving Coagulation Performance. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 2017, vol. 57, pp. 162–169. DOI: 10.1016/j.jes.2016.10.014

23. Zhao Y.X., Phuntsho S., Gao B.Y., Yang Y.Z., Kim J.H., Shon H.K. Comparison of a Novel Polytitanium Chloride Coagulant with Polyaluminium Chloride: Coagulation Performance and Floc Characteristics. *Journal of Environmental Management*, 2015, vol. 147, pp. 194–202. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.09.023

Received on February 16, 2018

---