

ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ КОАГУЛЯНТА СЕРНОКИСЛОГО ЖЕЛЕЗА(III) ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Т.Е. Бойкова, Н.И. Богданович, К.Б. Воронцов, Т.С. Мауричева,
С.Н. Долгобородова, В.П. Короткий**

**Филиал САФУ имени М.В. Ломоносова, г. Северодвинск,
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск,
ООО Научно-технический центр "Химинвест", г. Нижний Новгород**

Проведено исследование эффективности применения сульфата железа(III) (Ferix-3) при очистке природной воды. Выполнены экспериментальные исследования эффективности применения данного реагента в различных условиях: дозировка коагулянта, подщелачивание воды, доза и марка флокулянта, температура обрабатываемой воды. Получены оптимальные результаты при дозировке коагулянта 30–70 мг/л, параметры воды соответствуют предъявляемым требованиям. Содержание взвешенных веществ в надосадочном слое не превышает 30 мг/л при продолжительности осветления 30 и более минут. Обоснована целесообразность проведения коагуляционной обработки с применением современного реагента на основе трехвалентного железа Ferix-3.

Ключевые слова: коагуляция, сульфат железа, взвешенные вещества, pH, цветность, высокоцветная природная вода

Use as an Iron(III) Sulfate Coagulant in Water Treatment in the Pulp and Paper Industry

**T.E. Boykova, N.I. Bogdanovich, K.B. Vorontsov, T.S. Mauricheva, S.N. Dolgoborodova,
V.P. Korotky**

**NArFU affiliated branch of Lomonosov Moscow State University in Severodvinsk, 164500 Severodvinsk, Russia,
Northern (Arctic) Federal Affiliated Branch Lomonosov Moscow State University, 163002 Arkhangelsk,
Russia, LLC Scientific and Technical Center "Himinvest", 603001 Nizhny Novgorod, Russia**

The study of the effectiveness of the use of iron(III) sulfate (Ferix-3) in the treatment of natural water. Experimental studies of the effectiveness of this reagent in various conditions: the dosage of coagulant, alkalization of water, the dose and grade of flocculant, the temperature of the treated water. Optimal results were obtained with a dosage of coagulant of 30–70 mg/l, the parameters of water meet the requirements. The content of suspended substances in the supernatant layer does not exceed 30 mg/l with a duration time of clarification of 30 minutes or more. The practicality of coagulation treatment with the use of modern reagent based on ferix-3 ferric iron has been substantiated.

Keywords: coagulation, ferrous sulfate, suspended substances, pH, colour value, high-color natural water

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-02-30-35

В Архангельской области расположены два крупных целлюлозно-бумажных предприятия: АО "Архангельский ЦБК" в г. Новодвинске (АЦБК) и Котласский ЦБК "Филиал АО "Группа "Илим" в г. Коряжме (КЦБК). Источники водоснабжения предприятий — реки Северная Двина и Вычегда, соответственно. Как и у всех северных рек, их вода отличается малой мутностью, низкой минерализацией и щелочностью, высокими цветностью и содержанием органи-

ческих природных соединений. Вода имеет желтовато-коричневый цвет, что обусловлено в основном содержанием в ней высокомолекулярных гумусовых веществ, которые вымываются из почв, поступают из торфяных болот. Интенсивность цвета при этом зависит от концентрации и состава водного гумуса [1, 2]. Содержание окрашенных примесей характеризуется величиной цветности воды — это органолептический показатель, измеряемый в градусах бихромат-кобальтовой шкалы

(БКШ). Косвенно о суммарном наличии органических соединений можно судить по величине окисляемости, которая выражается в миллиграммах кислорода, необходимого для окисления органических примесей в 1 л исследуемой воды. Как правило, на водоподготовительных станциях окисляемость определяют по результатам титрования перманганатом калия (перманганатная окисляемость), при этом окисляется лишь около 50 % органических соединений. Наиболее полное окисление

(90–95 %) достигается в случае применения дихромата калия — химическое потребление кислорода (ХПК) [3].

Водоподготовительные цеха предприятий АЦБК и КЦБК спроектированы идентично и состоят из трех участков: фильтроотстойные сооружения № 1 (ФОС-1), глиноземный участок, фильтроотстойные сооружения № 2 (ФОС-2). На ФОС-1 готовится фильтрованная вода на нужды выпарной станции и для участка химводоочистки водоподготовительного цеха теплоэлектростанции (ТЭС). Вода после ФОС-1 направляется на доочистку и глубокое обессоливание ионообменными смолами. Также на ФОС-1 (глиноземный участок) вырабатывается вода хозяйственно-бытового назначения для города и промышленной площадки с показателями качества согласно санитарно-гигиеническим нормативам. Участок ФОС-2 предназначен для обеспечения фильтрованной водой производства сульфатной белевой целлюлозы и производства печатных бумаг. Требования к качеству обработанной речной воды устанавливаются технологическим регламентом предприятий (табл. 1).

На ТЭС ЦБК предъявляются повышенные требования к предварительной подготовке воды по следующим показателям: рН, мутность, содержание органических примесей, цветность [4]. Неэффективная очистка на стадии предподготовки по данным параметрам может свести к минимуму преимущества применения современных ионитных и мембранных технологий [5]. Кроме того, при неэффективной очистке от грубодисперсных и коллоидно-дисперсных примесей будут образовываться отложения на поверхностях нагрева теплообменных аппаратов и усилится коррозия элементов проточных частей турбин [4].

Для снижения цветности воды в цехах водоподготовки рассматриваемых предприятий используется метод коагуляции, при этом применяется реагент на основе алюминия — сернокислый алюминий (СА). Однако при сезонных колебаниях состава речных вод, характеризующихся высокими значениями окисляемости, низкой щелочностью и низкой температу-

Таблица 1. Требования, предъявляемые к обработанной воде
Table 1. Requirements for treated water

Участок цеха водоподготовки	Мутность, мг/л	Цветность, °БКШ	рН	Содержание железа, мг/л	Остаточный алюминий, мг/л
ФОС-1	3,0	20	>6	<0,2* (<0,15**)	Не нормируется
Глиноземный участок	1,5 (2,0***)	20 (<35***)	6–9	0,3 (1,0***)	0,2 (0,5***)
ФОС-2	<0,1	20	>6	0,3 (0,4***)	Не нормируется

*Осенне-зимний период.
**Весенне-летний период.
***В период паводка.

рой (в Архангельской области температура речной воды в течение 8 месяцев в году составляет 1–5 °С), коагуляция с СА протекает вяло, неполно [6]. Для достижения необходимых требований увеличивают дозы реагентов: коагулянта, флокулянта, соды [7]. Это приводит к получению осветленной воды со значительным содержанием остаточного алюминия и низкой эффективностью удаления органических примесей [5, 8].

Вместо алюминийсодержащего коагулянта может быть использован реагент на основе сернокислого железа — Ferix-3 (Kemira, Финляндия) с содержанием Fe³⁺ 19,5±1,0 % по массе. Ferix-3 поставляется в виде гранул зеленовато-желтого цвета, хорошо растворимых в воде. В литературных источниках отмечается, что он в меньшей степени подвержен влиянию низких температур и имеет более широкий оптимальный диапазон рН [6]. Также засвидетельствован опыт успешного применения за рубежом данного реагента в аналогичных условиях (низкие температуры воды, высокие цветность и содержание природных органических соединений) [6, 9]. Наибольшее распространение железосодержащие реагенты получили в Финляндии, их применение обеспечивает более глубокое удаление органических соединений из речной воды. Это ведет к сокращению содержания токсичных хлорорганических соединений, образующихся в результате первичного хлорирования воды с целью окисления органики [10], а содержание остаточного алюминия в обработанной воде снижается до уровня исходной воды. Все эти преимущества актуальны в связи с ужесточением нормативов качества хозяйственно-питьевой воды в России: содержание

остаточного алюминия не более 0,2 мг/л (0,5 мг/л по особому соглашению с Главным государственным санитарным врачом РФ для конкретной территории и системы водоснабжения). Эти же значения по остаточному алюминию содержатся в рекомендациях Всемирной организации здравоохранения (г. Женева, 2004 г.).

Для повышения качества очистки в речную воду дополнительно к коагулянту вводят флокулянт [11]. На предприятиях ЦБП Архангельской области применяется флокулянт Praestol 650 TR. В зарубежных исследованиях отдается предпочтение природным коагулянтам и флокулянтам, которые являются альтернативой синтетическим реагентам [12, 13]. К ним относятся крахмал, декстрин, эфиры целлюлозы, альгинат натрия, хитозан, водные экстракты и соки растений, гуаровые смолы. На основе крахмала производят неионогенные флокулянты. Обычно оптимальные дозы синтетических анионных флокулянтов находятся в пределах 0,1–2,0 мг/л; катионных при совмещении с коагулянтами — 0,1–0,3; альгинат натрия применяют дозировкой 0,1–1,0; производные крахмала — до 25–50 мг/л [13]. В условиях Архангельской области особый интерес представляет использование в качестве флокулянта именно альгината натрия, что связано с наличием промышленного производства данного реагента на АО "Архангельский опытный водорослевый комбинат".

Цель данного исследования — экспериментальная оценка эффективности применения в качестве коагулянта современного реагента на основе сульфата железа для повышения качества очистки воды для нужд ЦБП и населения в условиях низких температур и высокой цветности

Таблица 2. Характеристика проб речной воды*
Table 2. Characteristics of river water samples *

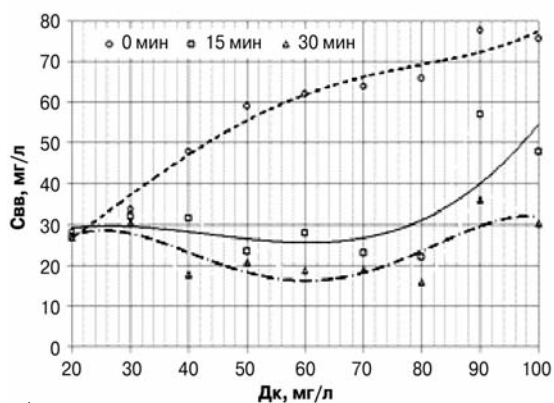
Источник водоснабжения	ХПК, мгО ₂ /л	С _{Fe} , мг/л	С _{вв} , мг/л	T, °C	pH	Цветность, °БКШ
р. Северная Двина	48	1,33	9,0	1,0	7,6	155
р. Вычегда	56	1,50	13,0	1,0	7,5	180

*Средние.

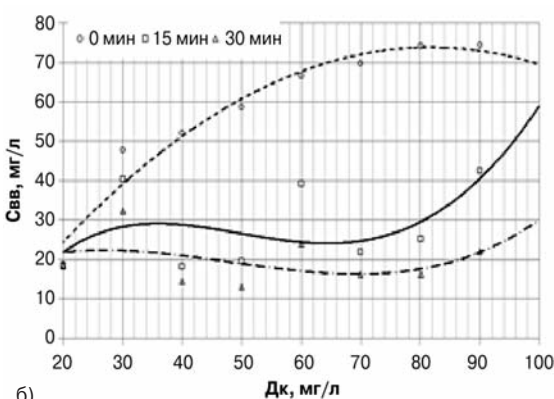
Таблица 3. Эффективность очистки проб воды р.Северная Двина при введении коагулянта Ferix-3 различной дозировки
Table 3. Efficiency of cleaning samples of water of the Northern Dvina river with the introduction of coagulant Ferix-3 of various dosages

№	Д _к , мг/л	рН	Показатели профильтрованной пробы			Э _{цв} , %
			рН	Цветность, °БКШ	С _{Fe} , мг/л	
1	20	5,86	6,44	361,8	8,4	0*
2	30	5,70	6,33	125,8	2,7	21
3	40	5,01	5,95	18,5	0,8	88
4	50	3,38	4,59	11,4	1,2	93
5	60	3,07	3,52	19,1	2,0	88
6	70	2,88	3,13	32,7	3,7	79
7	80	2,75	2,85	61,8	7,6	61
8	90	2,79	2,81	82,4	3,4	48
9	100	2,74	2,73	95,3	11,1	40

*Цветность увеличилась по сравнению с исходной.



а)



б)

Рис. 1. Зависимость СВВ от дозировки коагулянта и времени осветления:
 а – без подщелачивания; б – с подщелачиванием Ca(OH)₂

Fig. 1. The dependence of SMC on the dosage of coagulant and the time of clarification:
 a – without alkalization; b – with alkalization of Ca(OH)₂

воды. Кроме того, ставилась задача протестировать альгинат натрия в качестве флокулянта и сравнить эффективность его применения с катионными флокулянтами Praestol 650 TR (Россия) и Флопам FO 4115 SH (Франция).

Для оценки возможности применения указанных реагентов на стадии водоподготовки на предприятиях ЦБП в Архангельской области проведены серии лабораторных испытаний. Пробы воды рек Вычегда и Северная Двина в районе водозабора АЦБК отбирали в период с конца октября по декабрь 2017 г., когда цветность и ХПК речной воды максимальны (табл. 2).

Эксперименты проводили по методике пробного коагулирования [14]. В мерные стаканы объемом 250 мл наливали пробы речной воды. После осветления пробы фильтровали через фильтр "синяя лента" и определяли следующие показатели: цветность фотоколориметрическим методом (ГОСТ Р 52769-2007); мутность турбидиметрическим методом по формазину (ПНД Ф 14.1:2.4.213-05); рН потенциометрическим методом (ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97); ХПК титриметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2.100-97); концентрацию остаточного железа фото-

метрическим методом с о-фенантролином (ПНД Ф 14.1:2.2-95). Здесь и далее введены обозначения: Д_к — доза коагулянта, С_{вв} — содержание взвешенных веществ, С_{Fe} — концентрация остаточного железа, Э_{цв} — эффективность обесцвечивания, T — температура.

На начальном этапе подбирали оптимальную дозу коагулянта, без добавления флокулянта. Результаты эксперимента приведены в табл. 3 и на рис. 1, а.

При низких дозировках коагулянта (20–30 мг/л) коллоидно-дисперсная система устойчива, хлопья не формируются совсем или образуется мелкий осадок. При этом железо взаимодействует с органическими примесями воды, образуя буро-желтые окрашенные соединения, в результате цветность обработанных проб воды становится выше исходной (340–360 °БКШ). При дозах 30–40 мг/л формируются хлопья, способные осаждаться. С увеличением Д_к эффективность осветления увеличивается, формируются более крупные хлопья, это происходит до следующей критической величины дозировки — 80 мг/л; при больших Д_к эффективность обесцвечивания снижается, а содержание взвешенных веществ в осветленной воде увеличивается. Это связано со значительным снижением рН при увеличении Д_к в результате гидролиза коагулянта. Только три пробы соответствовали нормативу по цветности (см. табл. 3, № 3–5). При этом в них были зарегистрированы минимальные концентрации остаточного железа, но выше нормативных требований.

Для повышения Э_{цв} проводили коагуляцию с предварительным подщелачиванием гидроксидом кальция (доза — 5 мг/л). Результаты представлены в табл. 4 и на рис. 1, б.

Анализ данных в табл. 4 и на рис. 1, б показывает, что даже при небольшой дозе подщелачивающего реагента эффективность обесцвечивания увеличилась. В интервале дозировок коагулянта от 30 до 70 мг/л величина цветности соответствует предъявляемым требованиям (20 °БКШ). Однако следует отметить, что с увеличением дозы коагулянта значительно

снижается рН — до 2,7 единиц. Относительно высокое содержание остаточного железа в пробах во всем интервале дозировок коагулянта свидетельствует о недостаточной глубине протекания процесса очистки.

На рис. 2 представлены показатели качества исследуемых проб, а именно зависимость цветности и рН от дозировки коагулянта и зависимость концентрации остаточного железа в обработанной воде от величины рН. Экспериментальные данные подтверждают, что при очистке высокоцветных вод существует диапазон значений рН (для исследуемой воды — 3,5–5,5), в пределах которого концентрация остаточного железа минимальна, что свидетельствует об отсутствии в обработанной воде его растворимых форм [6]. При проведении процесса коагуляции за пределами данного диапазона содержание остаточного железа увеличивается и, как следствие, ухудшается качество очистки по цветности.

Промежуток времени между моментами добавления в воду коагулянта и флокулянта подбирается таким образом, чтобы, с одной стороны, обеспечивалось равномерное распределение раствора коагулянта в объеме воды и успевали образоваться микрохлопья коагулированной взвеси, а с другой стороны, чтобы не произошло существенного уменьшения численной концентрации частиц за счет агломерации и ухудшения поверхностных свойств коагулированной взвеси в результате старения. Обычно этот промежуток времени составляет от 1 до 4 мин.

В методику пробной коагуляции были внесены изменения: через минуту после добавления коагулянта вводили подщелачивающий реагент — раствор соды (дозировка 50 мг/л) и еще через минуту — раствор флокулянта (концентрация — 0,05 %, дозировка — 0,5 мг/л). Пробу со всеми внесенными реагентами перемешивали на минимальной скорости в течение 10 мин, затем переносили в мерные цилиндры для отстаивания. Дозу коагулянта варьировали от 20 до 60 мг/л. Предполагалось, что совместно с фло-

Таблица 4. Эффективность очистки проб воды р. Северная Двина при введении коагулянта Ferix-3 различной дозировки с предварительным подщелачиванием 0,1 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Table 4. Efficiency of cleaning water samples p. Northern Dvina with the introduction of coagulant Ferix-3 of various dosages with preliminary alkalization of 0.1% $\text{Ca}(\text{OH})_2$

№	Дк, мг/л	рН	Показатели профильтрованной пробы			Э _{цв} , %
			рН	Цветность, °БКШ	С _{Fe} , мг/л	
1	20	6,41	7,21	343,6	13,2	0*
2	30	5,19	6,23	4,5	0,3	97
3	40	4,81	6,03	2,4	0,6	99
4	50	3,88	5,14	0,4	1,0	100
5	60	3,28	3,83	4,4	1,6	97
6	70	3,09	3,36	7,6	2,6	95
7	80	2,92	2,89	20,2	7,1	87
8	90	2,87	2,73	26,0	9,0	84

*Цветность увеличилась по сравнению с исходной.

кулянтом и при подщелачивании порог коагуляции снизится и дозу реагента можно будет уменьшить. Результаты эксперимента представлены в табл. 5 и на рис. 3.

Из представленных данных можно сделать выводы о том, что альгинат натрия показал наилучший результат по эффективности — 96 % уже при Д_к = 40 мг/л, при этом рН, цветность, С_{Fe} соответствуют требованиям нормативов. При использовании альгината натрия порог коагуляции наблюдали при дозировке Ferix 30 мг/л, в то время как для Praestol 650 TR — при 40 мг/л, а для Флопам FO 4115 SH — при 50 мг/л. При Д_к = 60 мг/л во всех трех случаях требуемая для эффективной работы фильтров мутность 10 мг/л достигается уже через 15 мин осветления.

По концентрации остаточного железа С_{Fe} результат во всех пробах ниже ПДК, что говорит об увеличении глубины удаления органических соединений при подщелачивании пробы. Применяемый в настоящее время на предприятиях Praestol 650 TR показал хорошие результаты по всем показателям, высокую эффективность — более 94 % при дозе коагулянта от 50 мг/л. Именно при этой дозировке коагулянта были определены величины ХПК в пробах после обработки. Эффективность очистки по ХПК составила при использовании флокулянта Praestol — 63 %, Флопам — 45 %, альгината натрия — 70 %.

На заключительном этапе оценивали влияние температур-

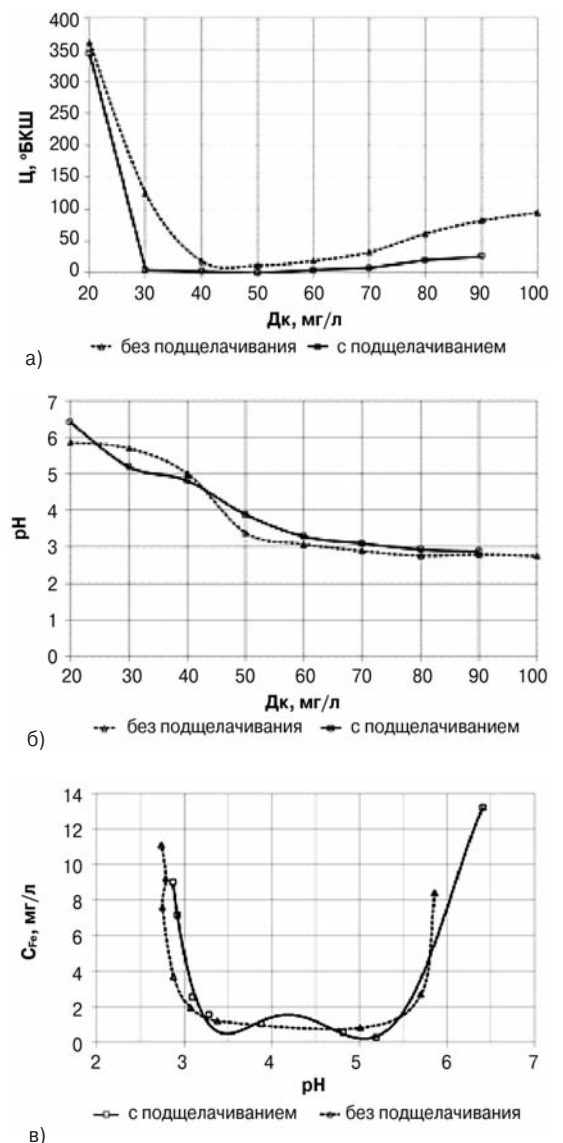


Рис. 2. Зависимость цветности (а), рН (б) от дозировки коагулянта и концентрации остаточного железа от рН пробы (в)

Fig. 2. Dependence of chromaticity (a), pH (b) on the dosage of coagulant and the concentration of residual iron on the pH of the sample (c)

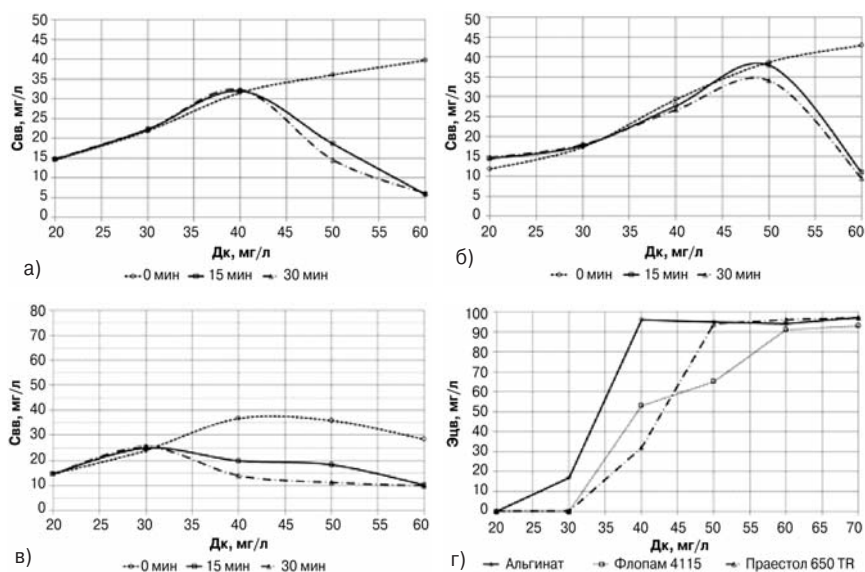


Рис. 3. Зависимость $S_{св}$ от дозировки флокулянтов Praestol 650 TR (а), Флопам FO 4115 SH (б), альгинат натрия (в) и зависимость ЭЦВ от типа флокулянта и D_c (г)

Fig. 3. The dependence of SMC on the dosage of flocculants Praestol 650 TR (a), Floпам FO 4115 SH (b), sodium alginate (c) and the dependence of ECV on the type of flocculant and D_c (g)

Таблица 5. Эффективность применения флокулянтов при очистке воды
Table 5. The effectiveness of flocculants in water purification

№	Флокулянт	D_c , мг/л	рН	$S_{св}$, мг/л, при времени осветления, мин			Показатели профильтрованной пробы			$\text{Э}_{цв}$, %
				0	15	30	рН	Цветность, °БКШ	S_{Fe} , мг/л	
1	Praestol 650 TR	20	6,37	14	15	15	7,20	350,9	0,25	0*
2		30	6,09	21	22	22	7,13	396,4	0,13	0*
3		40	5,77	31	32	32	6,73	108,0	0,03	32
4		50	5,30	36	18	14	5,98	9,8	0,03	94
5		60	4,00	4,00	6	6	5,37	5,6	0,08	96
1	Флопам FO 4115 SH	20	6,79	12	14	15	7,10	336,2	0,05	0*
2		30	6,43	17	18	18	6,94	418,9	0,04	0*
3		40	6,12	29	28	27	6,90	74,7	0,07	53
4		50	5,88	39	38	34	6,73	56,2	0,06	65
5		60	5,62	43	11	9	6,29	14,7	0,10	91
1	Альгинат натрия	20	6,43	15	15	15	7,23	330,9	0,12	0*
2		30	6,06	24	25	25	6,73	132,2	0,31	17
3		40	6,04	37	20	14	6,57	6,2	0,01	96
4		50	5,56	36	18	11	6,32	17,6	0,04	89
5		60	5,18	28	10	10	6,11	10,0	0,04	94

*См. примечание к табл. 3.

Таблица 6. Эффективность коагуляции при низкой температуре*
Table 6. Coagulation efficiency at low temperature *

№	T , °C	Доза Na_2CO_3 , мг/л	рН	$S_{св}$, мг/л, при времени осветления, мин			Показатели профильтрованной пробы			$\text{Э}_{цв}$, %
				0	15	30	рН	Цветность, °БКШ	S_{Fe} , мг/л	
1	1±0,4	50	6,11	40	41	39	6,02	16,9	0,04	89
2	1±0,4	25	5,85	36	42	36	5,66	11,09	0,03	93
3	5±0,4	50	6,17	32	29	25	6,06	13,6	0,02	91
4	5±0,4	нет	4,92	43	40	39	4,70	8,54	0,31	94

*Флокулянт Praestol 650 TR.

ного фактора на эффективность очистки, так как основная сложность в работе сооружений водоподготовки в нашем регионе – коагуляция в условиях низких температур. Выбранный диапазон температур 1–5 °C соответствует средним показателям для осенне-зимне-весеннего сезонов в Архангельской области. Заданная температура поддерживалась постоянной в течение всего эксперимента – от ввода реагентов до стадии осветления. Минимальное количество реагента, при котором зарегистрированы удовлетворительные результаты – 40 мг/л; применяли предварительное подщелачивание содой и флокулянт Praestol 650 TR (дозировка 0,3 мг/л). Результаты экспериментов приведены в табл. 6.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Экспериментально доказана эффективность применения коагулянта Ferix-3 для очистки речной воды с высокой цветностью, содержанием природных органических соединений и низкой щелочностью, в том числе в условиях низких температур: эффективность очистки по цветности достигает 99 %, температура обрабатываемой воды не оказывает существенного влияния на процесс очистки.

2. Доказано, что обязательным условием эффективной очистки является поддержание рН в диапазоне 3,5–5,5 единиц, для чего вследствие низкого щелочного резерва исследуемой воды необходимо его корректировать щелочными реагентами.

3. Выявлено, что введение коагулянта дозировкой свыше 80 мг/л (60 мг/л при совместном использовании с флокулянтам) не приводит к снижению степени очистки.

4. Установлено, что при введении флокулянтов дозировкой 0,5 мг/л эффективность очистки по всем показателям увеличивается. Экспериментально доказана высокая эффективность применения природного соединения альгината натрия в качестве флокулянта совместно с коагулянтом Ferix-3, что соответствует современным тенденциям экологичности применяемых реагентов.

Литература

1. **Гетманцев С.В.** Использование современных коагулянтов в практике российских водоочистных предприятий. Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 4. С. ??
2. **Линевич С.Н., Гетманцев С.В.** Коагуляционный метод водообработки. Теоретические основы и практическое использование. М., Наука, 2007. 167 с.
3. **Водоподготовка:** Справочник. Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М., Аква-Терм, 2007. 240 с.
4. **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.
5. **Евсютин А.В.** Исследование и совершенствование технологии предварительной очистки воды с использованием оксихлоридов алюминия. Диссертация на соискание уч. степени кандидата технических наук. М., 2009. 120 с.
6. **Драгинский В.Л., Алексева А.П., Гетманцев С.В.** Коагуляция в технологии очистки природных вод. Науч. изд. М., 2005. 576 с.
7. **Гетманцев С.В.** Система выбора эффективных технологий очистки природных вод с применением алюмосодержащих коагулянтов. Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 8. С. 4–9.
8. **Феофанов Ю.А., Хиршиева И.В.** Повышение эффективности процесса коагуляции маломутных цветных вод путем введения добавок-утяжелителей. Вода и экология: проблемы и решения. 2015. № 2. С. 24–30.
9. **Фесенко Л.Н., Дилина М.А., Гайдуков В.Р.** Эффективность совместного применения железного и алюминиевого коагулянтов при обработке донской воды. Матер. науч.-практ. конф. "Технологии очистки воды". Новочеркасск, 2004. С. 154–157.
10. **Сколубович А.Ю.** Разработка технологии очистки высокоцветных маломутных вод поверхностных источников для питьевого водоснабжения. Дисс. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2010. 186 с.
11. **Найманов А.Я., Никиша С.Б., Ковтун С.В., Найманова А.А., Островская С.В., Антоненко С.Е., Коровина А.А.** Снижение выбросов в окружающую среду из систем водного хозяйства. Матер. науч.-практ. конф. "Технологии очистки воды". Новочеркасск, 2004. С. 36–39.
12. **Prasanna N.P., Sricharan V., Iyankumar R., Vishnu P.D.** A Novel Method of Algal Based Water Treatment by Natural Coagulant "Alginates". International Journal of Science and Research (IJSR). 2017. Vol. 6. Iss. 9. P. 769–775.
13. **Frederick W. Pontius.** Chitosan as a Drinking Water Treatment Coagulant. American Journal of Civil Engineering. 2016. Vol. 4. Iss. 5. P. 205–215.
14. **Жулин А.Г., Елизарова О.Д., Глушенко Е.С.** К выбору емкости для пробного коагулирования. Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 4. С. 3–12.

References

1. **Getmantsev S.V.** Ispol'zovanie sovremennykh koagulyantov v praktike rossiiskikh vodoochistnykh predpriyatii. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2006. № 4. S. ??
2. **Linevich S.N., Getmantsev S.V.** Koagulyatsionnyi metod vodoobrabotki. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe ispol'zovanie. M., Nauka, 2007. 167 s.
3. **Vodopodgotovka:** Spravochnik. Pod red. d.t.n., deistvitelnogo chlena Akademii promyshlennoi ekologii S.E. Belikova. M., Akva-Term, 2007. 240 s.
4. **Komissarenkov A.A., Pruglo G.F., Fedorov V.A., Fedorova O.V.** Osnovy vodopodgotovki v tsellyulozno-bumazhnoi promyshlennosti i v teploenergetike. SPB GTURP, 2012. 98 s.
5. **Evsyutin A.V.** Issledovanie i sovershenstvovanie tekhnologii predvaritel'noi ochistki vody s ispol'zovaniem oksikhloridov alyuminiya. Dissertatsiya na soiskanie uch. stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. M., 2009. 120 s.
6. **Draginskii V.L., Alekseeva A.P., Getmantsev S.V.** Koagulyatsiya v tekhnologii ochistki prirodnykh vod. Nauch. izd. M., 2005. 576 s.
7. **Getmantsev S.V.** Sistema vybora effektivnykh tekhnologii ochistki prirodnykh vod s primeneniem alyumosoderzhashchikh koagulyantov. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2011. № 8. S. 4–9.
8. **Feofanov Yu.A., Khirshieva I.V.** Povyshenie effektivnosti protsesssa koagulyatsii malomutnykh tsvetnykh vod putem vvedeniya dobavok-utyazhelitelei. Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 2015. № 2. S. 24–30.
9. **Fesenko L.N., Dilina M.A., Gaidukov V.R.** Effektivnost' sovmestnogo primeneniya zheleznogo i alyuminievogo koagulyantov pri obrabotke donskoi vody. Mater. nauch.-prakt. konf. "Tekhnologii ochistki vody". Novocherkassk, 2004. S. 154–157.
10. **Skolubovich A.Yu.** Razrabotka tekhnologii ochistki vysokotsvetnykh malomutnykh vod poverkhnostnykh istochnikov dlya pit'evogo vodosnabzheniya. Diss. ... kand. tekhn. nauk. Novosibirsk, 2010. 186 s.
11. **Naimanov A.Ya., Nikisha S.B., Kovtun S.V., Naimanova A.A., Ostrovskaya S.V., Antonenko S.E., Korovina A.A.** Snizhenie vybrosov v okruzhayushchuyu sredyu iz sistem vodnogo khozyaistva. Mater. nauch.-prakt. konf. "Tekhnologii ochistki vody". Novocherkassk, 2004. S. 36–39.
12. **Prasanna N.P., Sricharan V., Iyankumar R., Vishnu P.D.** A Novel Method of Algal Based Water Treatment by Natural Coagulant "Alginates". International Journal of Science and Research (IJSR). 2017. Vol. 6. Iss. 9. P. 769–775.
13. **Frederick W. Pontius.** Chitosan as a Drinking Water Treatment Coagulant. American Journal of Civil Engineering. 2016. Vol. 4. Iss. 5. P. 205–215.
14. **Zhulin A.G., Elizarova O.D., Glushchenko E.S.** K vyboru emkosti dlya probnogo koagulirovaniya. Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 2016. № 4. S. 3–12.

T.E. Boykova – st. преподаватель, Филиал САФУ имени М.В. Ломоносова в г. Северодвинске Архангельской области, 164500 Россия, Архангельская обл., г. Северодвинск, ул. Капитана Воронина 6, e-mail: t.boykova@narfu.ru • Н.И. Богданович – д-р техн. наук, профессор, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 163002 Россия, г. Архангельск, наб. Северной Двины 17, e-mail: n.BOGDANOVICH@narfu.ru • К.Б. Воронцов – канд. техн. наук, доцент, e-mail: n.bogdanovich@narfu.ru • Т.С. Мауричева – заместитель директора по учебной работе, Филиал САФУ имени М.В. Ломоносова в г. Северодвинске Архангельской области, 164500 Россия, Архангельская обл., г. Северодвинск, ул. Капитана Воронина 6, e-mail: t.mauricheva@narfu.ru • С.Н. Долгобородова – ст. преподаватель, e-mail: s.dolgorodova@narfu.ru • В.П. Короткий – директор, ООО Научно-технический центр «Химинвест», 603001 Россия, г. Нижний Новгород, Нижне-Волжская набережная 6/1, e-mail: himinvest@sandy.ru

T.E. Boykova – Senior Lecturer, NarFU affiliated branch of Lomonosov Moscow State University in Severodvinsk, Arkhangelsk region, 164500 Russia, Arkhangelsk Region, Severodvinsk, Captain Voronin Str. 6, e-mail: t.boykova@narfu.ru • N.I. Bogdanovich – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Northern (Arctic) Federal Affiliated Branch Lomonosov Moscow State University, 163002 Russia, Arkhangelsk, Northern Dvina Emb. 17, e-mail: n.BOGDANOVICH@narfu.ru • K.B. Vorontsov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, e-mail: n.bogdanovich@narfu.ru • T.S. Mauricheva – Deputy Director for Academic Affairs, NarFU affiliated branch of Lomonosov Moscow State University in Severodvinsk, 164500 Russia, Arkhangelsk Region, Severodvinsk, Captain Voronin Str. 6, e-mail: t.mauricheva@narfu.ru • S.N. Dolgorodova – Senior lecturer, e-mail: s.dolgorodova@narfu.ru • V.P. Korotky – Director, LLC Scientific and Technical Center "Himinvest", 603001 Russia, Nizhny Novgorod, Nizhnevolzhskaya embankment 6/1, e-mail: himinvest@sandy.ru