

А.В. Мамченко, Н.Г. Герасименко, Т.А. Пахарь

**ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ ФТОРА И
ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
АЛЮМИНИЕВЫХ КОАГУЛЯНТОВ
ПРИ ДЕФТОРИРОВАНИИ ВОДЫ**

Институт коллоидной химии и химии воды
им. А.В. Думанского НАН Украины, г. Киев
n_gera_56@ukr.net

Изучено влияние исходной концентрации ионов фтора (2,0 – 8,5 мг/дм³) и мелкодисперсных примесей каолина (0,5 – 6,0 мг/дм³) на эффективность сульфата (СА), основного сульфата (ОСА 2,0) и основного хлорида (5/6 ОХА) алюминия при дефторировании воды. Установлено, что замена сульфата алюминия его основными солями позволяет не только уменьшить расход коагулянта, но и дает возможность очищать загрязненные ионами фтора воды на 27–35 % без дополнительного введения щелочных агентов. Показана перспективность использования ОСА 2,0 для дефторирования маломутных вод (подземные источники), а 5/6 ОХА – для вод с относительно высоким содержанием взвешенных примесей.

Ключевые слова: дефторирование, концентрация глинистых частиц, основной сульфат и основной хлорид алюминия.

Введение. Повсеместное распространение растворимых соединений, содержащих фтор, в породах и почвах обуславливает его присутствие в природных и подземных водах, используемых для питьевого водоснабжения. Поэтому проблема дефторирования актуальна для многих стран, в том числе и Украины [1–3].

Известно [1, 2], что при обработке подземных вод, содержащих фтор, сульфатом алюминия главным недостатком является образование чрезвычайно легких хлопьев гидроксида алюминия, которые выносятся из отстойных сооружений, быстро забивают фильтры и ухудшают качество питьевой воды как по алюминию, так и фтору. Кроме этого, из-за отсутствия в подземных водах мелкодисперсных примесей или других цен-

© А.В. Мамченко, Н.Г. Герасименко, Т.А. Пахарь, 2014

тров формирования осадка процессы хлопьеобразования и седиментации протекают очень медленно. Отмеченные недостатки использования сульфата алюминия (СА) при дефторировании могут быть значительно снижены в случае замены его на основные сульфаты и основные хлориды алюминия [4, 5]. Последние в силу иных коллоидно-химических свойств продуктов гидролиза (электрокинетический потенциал, гидратация, размерно-плотностные характеристики) обладают более высокой коагулирующей активностью при очистке воды от дисперсных примесей глинистых и гумусовых веществ [6, 7].

Проведенные нами исследования также свидетельствуют о более высокой эффективности ОСА 2,0 (основной сульфат алюминия с модулем основности 2,0, $Al_2(OH)_2(SO_4)_2 \cdot nH_2O$) и 5/6 ОХА (основной хлорид алюминия, $Al_2(OH)_5Cl$) при обесфторивании воды, содержащей 5,0 мг F/дм³ [8]. Показано, что целенаправленное уменьшение рН и щелочности обеспечивает снижение расхода реагентов (~ 25 – 35 %) с получением питьевой воды необходимого качества. При этом отмечено улучшение процессов седиментации и отстаивания коагулированной взвеси.

Установлено, что эффективность коагулирующего действия основных солей алюминия существенно зависит от величины мутности очищаемой воды [6].

Подземные воды, в отличие от вод поверхностных источников (особенно в паводковые периоды), характеризуются невысоким содержанием взвешенных частиц. Так, мутность артезианской воды источников Киевского региона колеблется в интервале 0,2 – 3,2 мг/дм³. Однако для некоторых бьюетов характерно периодическое повышение мутности до значений, которые в два – три раза выше ПДК [9].

Известно, что в большинстве поверхностных источников концентрация ионов фтора невысокая и колеблется в интервале 0,3 – 0,5 мг/дм³ [1, 2]. Однако в подземных водах природная концентрация фтора изменяется от средних (1,0 – 15 мг/дм³) до очень высоких (более 35 – 50 мг/дм³) значений и зависит от геологических, химических и физических характеристик водоносного слоя, пористости и кислотности почвы и камней, температуры, действия присутствующих химикатов и др. [3 – 5].

Цель данной работы – изучение дефторизирующей способности сульфата алюминия и его основных солей в процессе очистки воды с различным содержанием ионов фтора и мелкодисперсных глинистых частиц.

Методика эксперимента. В опытах использовали ОСА 2,0 (синтезирован в лабораторных условиях согласно [10]) и 5,6 ОХА (промышленный реагент марки БОПАК). Изучение влияния концентрации ионов фтора на степень их удаления выбранными коагулянтами проводили на модельной воде (температура – $\sim 25^\circ\text{C}$; ионная сила – $5,5 \cdot 10^{-3}$; мутность (М) – 2 мг/дм^3 ; цветность (Ц) – 25 град; щелочность (Щ) – 5 ммоль/дм^3 , рН₀ 8). Минимальное содержание ионов фтора составляло 2 мг/дм^3 , максимальное – определяли для каждого реагента в зависимости от его коагулирующих свойств и дефторизирующей способности. То есть основные показатели питьевой воды после ее очистки каждым реагентом должны отвечать требованиям ГОСТа [11], а именно: концентрация взвешенных частиц – $< 1,5 \text{ мг/дм}^3$; Ц – не более 20 град; остаточная концентрация ионов алюминия и фтора – соответственно $< 0,2$ и $1,5 \text{ мг/дм}^3$.

Влияние количества взвешенных частиц на степень удаления ионов фтора исследовали на образцах ОСА 2,0 и 5,6 ОХА. Как было установлено ранее [8], оптимальное удаление ионов фтора основными солями алюминия наблюдалось при невысоких значениях рН₀ и щелочности (условиях, при которых сульфат алюминия неприменим), поэтому в качестве модельной использовали воду с основными показателями: температура – $\sim 25^\circ\text{C}$; ионная сила – $5,5 \cdot 10^{-3}$; Ц – 25 град; рН₀ 6,7; Щ₀ – $3,0 \text{ ммоль/дм}^3$; концентрация ионов фтора – 5 мг/дм^3 . Изменение исходной мутности (М₀) в интервале $0,5 - 6,0 \text{ мг/дм}^3$ осуществляли введением необходимого количества специально приготовленной дисперсии каолина с размером частиц $\sim 1 \text{ мкм}$. Степень очистки от взвешенных частиц (%) рассчитывали по формуле $X = [(M_0 - M_{\text{неф}})/M_0] \cdot 100$ (M_{неф} – мутность нефильтрованной воды, отстаиванной в течение одного часа).

Дефторирование гидролизующими солями алюминия и контроль показателей качества очищенной воды подробно описаны в [8].

Результаты и их обсуждение. В ходе исследования установлено, что, независимо от исходного содержания в воде ионов фтора, значения мутности и цветности питьевой воды, полученной с помощью любого из выбранного ряда коагулянтов в оптимальной области, соответствуют нормативным требованиям, поэтому зависимости $M = f(D)$ и $C = f(D)$ здесь не приводятся.

На рис. 1 и 2 показано влияние дозы соответственно сульфата и дигидрокосульфата алюминия на величину C_F после очистки воды с различным исходным содержанием ионов фтора. В целом следует отметить, что ход кривых C_F = f(D) с преобладанием линейной зави-

симости в области малых и средних доз идентичен для обоих коагулянтов.

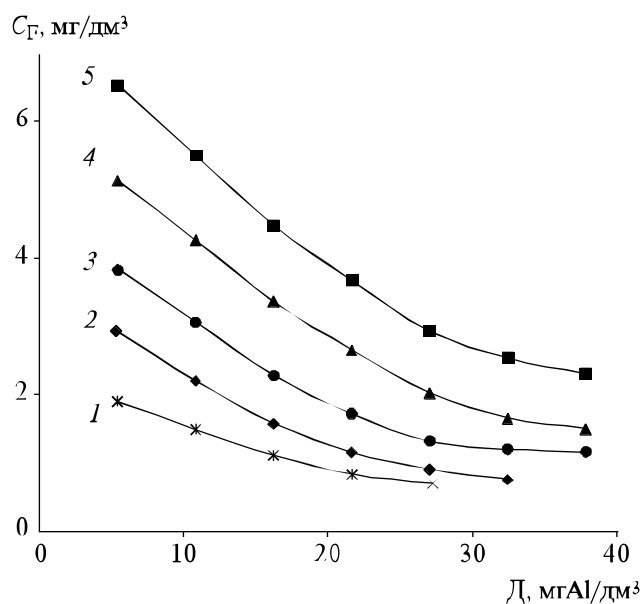


Рис. 1. Зависимость количества остаточного фтора от дозы сульфата алюминия при очистке модельных вод с исходной концентрацией ионов фтора, мг/дм³: 2,0 (1); 3,5 (2); 5,0 (3); 6,0 (4); 7,5 (5).

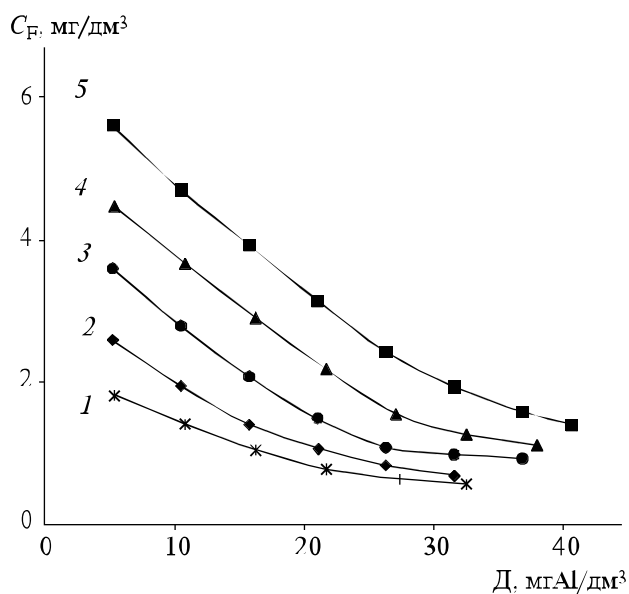


Рис. 2. Зависимость количества остаточного фтора от дозы дигидроксосульфата алюминия при очистке модельных вод с исходной концентрацией ионов фтора, мг/дм³: 2,0 (1); 3,5 (2); 5,0 (3); 6,0 (4); 7,5 (5).

Поскольку практически равная дефторирующая способность 5/6 ОХА и ОСА 2,0 при очистке воды, содержащей 5,0 мг/дм³ фтора [8], сохраняется и для систем с $C_{\text{оф}} = 2,0 - 7,5$ мг/дм³, то кривые $C_{\text{F}} = f(D)$, полученные при использовании ОСА, подробно в данной статье не рассматриваются. Повышение концентрации ионов фтора в исходной воде обуславливает увеличение расхода каждого коагулянта для достижения ПДК по данному иону. Если для СА необходимая степень очистки при выбранном диапазоне доз достигается для систем с $C_{\text{оф}}$ не более 6,0 мг/дм³ (см. рис. 1, кривая 4), то применение дигидроксосульфата алюминия и 5/6 ОХА позволяет очистить воду с более высоким содержанием ионов фтора, равным соответственно 7,5 (см. рис. 2, кривая 5) и 8,5 мг/дм³. Оптимальную дозу коагулянта при дефторировании можно определить не только выполнением условия $C_{\text{F}} < 1,5$ мг/дм³, но и условия $C_{\text{Al ост}} < 0,2$ мг/дм³.

На рис. 3 показано влияние природы и дозы коагулянта на остаточное содержание алюминия в процессе дефторирования воды для $C_{\text{оф}} = 5,0$ мг/дм³.

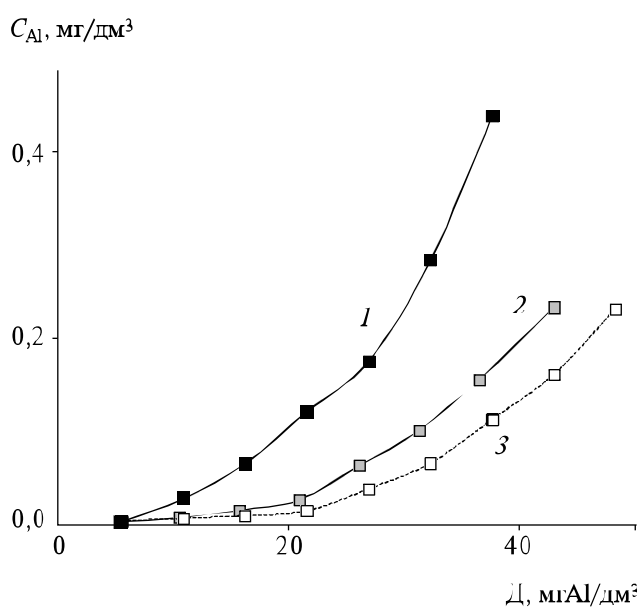


Рис. 3. Зависимость количества остаточного алюминия от дозы СА (1), ОСА 2,0 (2), 5/6 ОХА (3) при дефторировании воды. Модельная вода: $\text{pH}_0 = 8$; $\text{III}_0 = 5,0$ ммоль/дм³; $C_{\text{F}} = 5,0$ мг F/дм³.

Как видно, повышение основности коагулянтов от 0 до 2,5 в ряду СА, ОСА 2,0, 5/6 ОХА расширяет диапазон доз, обеспечивающих содержание остаточного алюминия, соответствующее качеству питьевой воды [6, 8]. Если для СА максимальная доза алюминия составляет 28,8 мг/дм³, то для ОСА 2,0 и 5/6 ОХА – соответственно 40,5 и 45,0 мг/дм³. Изменение начальной концентрации ионов фтора в ту или иную сторону практически не влияет на гидролиз коагулянтов и процессы хлопьеобразования и седиментации, т. е. ход кривых $C_{Al} = f(D)$ существенно не меняется. Отсюда следует, что оптимальный расход коагулянта при дефторировании воды с невысоким содержанием ионов фтора определяется выполнением условия $C_F < 1,5$ мг/дм³ (остаточный алюминий значительно ниже требуемой величины), а с высоким – выполнением условий по остаточному содержанию и фтора, и алюминия.

Влияние концентрации ионов фтора в воде и природы реагента на его оптимальную дозу показано в таблице. Как следует из полученных данных, применение сульфата алюминия, без дополнительного введения щелочных реагентов, возможно лишь для дефторирования воды ($pH_0 8$; $Ш_0 - 5,0$ ммоль/дм³) при $5,0$ мг/дм³ $< C_{OF} < 6,0$ мг/дм³. Использование же высокоосновных коагулянтов ОСА 2,0 и 5/6 ОХА не только позволяет очищать воду с более заметным загрязнением ионами фтора, но и обеспечивает экономию реагента (~ 10 – 15 %) в сравнении с СА.

Влияние исходной концентрации ионов фтора на оптимальную дозу коагулянтов

Концентрация ионов фтора в исходной воде, мг/дм ³	Оптимальная доза коагулянта, мг Al/дм ³		
	СА	ОСА 2,0	5/6 ОХА
2,0	10,80	9,45	9,9
3,5	17,46	14,76	15,48
5,0	24,30	20,97	21,60
6,0	–	27,27	26,55
7,5	–	37,98	36,72
8,5	–	–	45,00

От концентрации ионов фтора в исходной воде зависит не только доза реагента в целом, но и его расход, необходимый для удаления 1 мг/дм³ фтора. Анализ данных рис. 1, 2 и таблицы показывает, что при $C_{\text{оф}} = 2,0$ мг/дм³ удельный расход каждого образца почти в три раза больше, чем при очистке воды с $C_{\text{оф}} = 5,0$ мг/дм³. Это может быть связано либо с трудностью формирования нерастворимых комплексов Al – F, либо с малоэффективной сорбцией ионов фтора на активных осадках продуктов гидролиза коагулянта [1, 8]. Дальнейший рост концентрации ионов фтора при использовании основных солей алюминия практически не влияет на удельный расход.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что замена СА его основными солями наивысшей основности (ОСА 2,0 и 5/6 ОХА) при дефторировании воды позволяет не только уменьшить расход коагулянта, но и дает возможность очищать воду с более высоким (на 27 – 35 %) загрязнением ионами фтора без дополнительного введения щелочных агентов.

На рис. 4 представлены зависимости степени удаления взвешенных частиц каолина от дозы основных солей алюминия при очистке воды с разной мутностью.

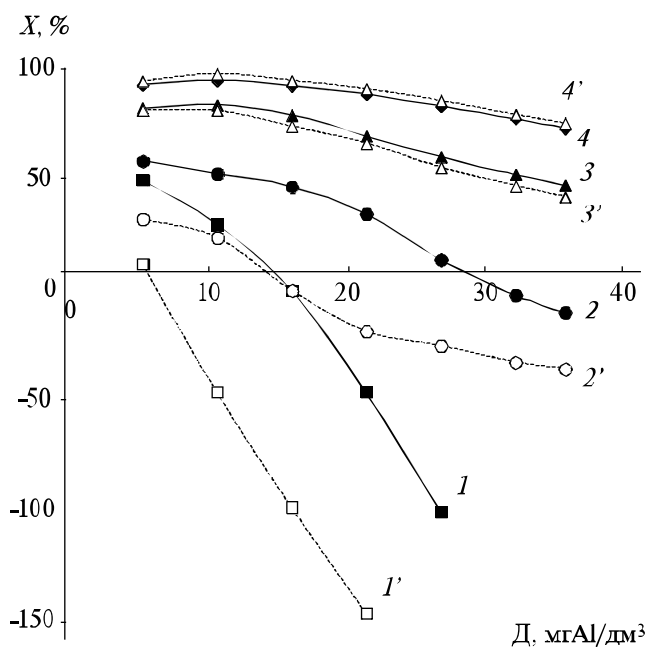


Рис. 4. Влияние дозы ОСА 2,0 (1 – 4) и 5/6 ОХА (1' – 4') на степень удаления взвешенных частиц при очистке воды с исходной мутностью, мг/дм³: 0,5 (1, 1'); 2,0 (2, 2'); 3,5 (3, 3'); 6,0 (4, 4'). $C_{\text{оф}} = 5,0$ мг/дм³.

Увеличение расхода обоих реагентов в интервале 5,4 – 36,0 мг Al/дм³ приводит к снижению степени очистки. Если при высокой концентрации взвешенных частиц (3,5; 6,0 мг/дм³) происходит относительно эффективная очистка от дисперсных примесей, и кривые $X = f(D)$ имеют пологий характер, то для низких значений M_0 повышение дозы и 5/6 ОХА, и ОСА 2,0 приводит к резкому снижению дестабилизации дисперсных частиц каолина (см. рис. 1, кривые 1, 1', 2, 2'), и, как следствие, значения X будут отрицательными. Наиболее высокая степень очистки характерна для дозы каждого реагента порядка 5,4 мг Al/дм³ при любом значении исходной мутности. В целом увеличение M_0 приводит к повышению степени очистки воды от взвешенных частиц как для 5/6 ОХА, так и для ОСА 2,0 при $D = \text{const}$. Исследованное влияние количества дисперсных примесей в исходной воде на степень очистки вполне закономерно, если учесть, что расход реагентов при дефторировании намного превосходит $D_{\text{онт}}$ при коагуляционной очистке природной воды, даже с более высокими значениями мутности и цветности [4, 8]. То есть внесение в обрабатываемую воду с низкой M_0 больших доз основных солей алюминия, необходимых для удаления ионов фтора, приводит к формированию значительного количества мелкодисперсных высокозаряженных продуктов гидролиза с высокой степенью устойчивости, большая часть которых не участвует в процессе дестабилизации. В результате наблюдается рост мутности в отстоянной воде и отсутствие очистки как таковой. Однако содержание взвешенных частиц в питьевой воде (отфильтрованной через фильтр "белая лента") ниже ПДК и составляет 0,5 – 1,0 мг/дм³ практически для всех значений исходной мутности. Только в случае $M_0 = 0,5$ мг/дм³ величина этого показателя колеблется в интервале 1,5 – 1,45 мг/дм³, т. е. на уровне предельной концентрации.

Природа аниона в составе основных солей алюминия оказывает существенное влияние на эффективность коагуляционной очистки при дефторировании. Как видно из представленных на рис. 4 данных, степень очистки воды с $M_0 = 3,5$ мг/дм³ при использовании ОСА 2,0 несколько выше (~ 5 %) в сравнении с 5/6 ОХА. Однако, если при снижении концентрации взвешенных частиц каолина указанная разница в коагулирующей активности основных солей алюминия заметно увеличивается (~30 – 50 %), то для воды с $M_0 = 6,0$ мг/дм³ наблюдается обратная тенденция: степень очистки в случае 5/6 ОХА выше, чем для ОСА 2,0, хотя и незначительно. Вероятно, с учетом выводов, изложен-

ных в [8], при дальнейшем повышении концентрации взвешенных частиц будет наблюдаться явное преимущество основного хлорида алюминия.

На рис. 5 показано влияние дозы основных солей алюминия и содержания взвешенных частиц каолина на остаточный алюминий в процессе дефторирования.

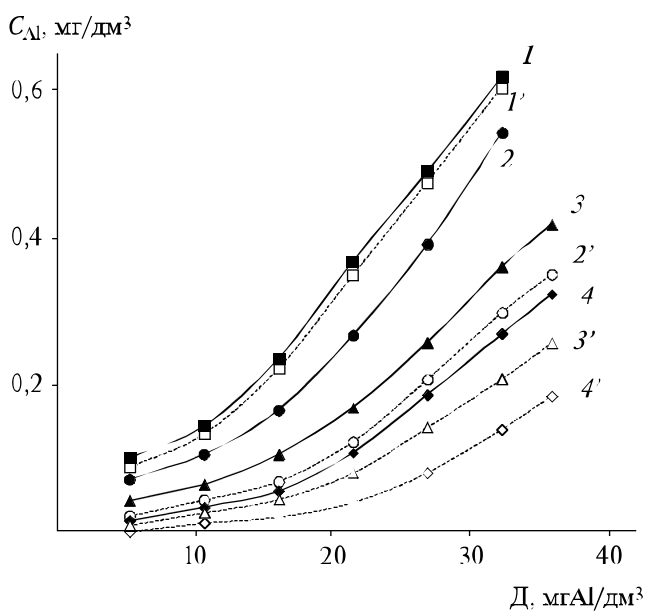


Рис. 5. Зависимость количества остаточного алюминия от дозы ОСА 2,0 (1–4) и 5/6 ОХА (1'–4') при очистке воды с исходным содержанием взвешенных частиц 5,0 мг/дм³. M_0 , мг/дм³: 0,5 (1, 1'); 2,0 (2, 2'); 3,5 (3, 3'); 6,0 (4, 4').

Увеличение расхода любого из выбранных коагулянтов приводит к повышению концентрации остаточного алюминия. В области средних и высоких доз наблюдается практически линейная зависимость кривых $C_{Al} = f(D)$. Основной причиной полученных закономерностей является резкое смещение pH_k в кислую область и снижение Π_k при внесении в обрабатываемую воду реагентов при возрастающих дозах, т.е. создаются условия для формирования либо растворимых гидроксокомплексов алюминия, либо мелкодисперсных нерастворимых продуктов гидролиза, проходящих сквозь фильтр [1, 6, 8]. Следует отметить, что для $D = const$ концентрация остаточного алюминия существенно ниже в случае использования основного хлорида алюминия при очистке вод с $M_0 = 6,0; 3,5; 2,0$ мг/дм³. Это объясняется более

высокой основностью 5/6 ОХА в сравнении с ОСА 2,0, т. е. с меньшим количеством ионов гидроксония, выделяющихся при гидролизе равной дозы, и, как следствие, более высокими значениями pH_k и Π_k [6]. Только для самой низкой исходной мутности показатели остаточного алюминия сравнимы для обоих реагентов. Это связано, как указано выше, с формированием устойчивого золь высокозаряженных продуктов гидролиза 5/6 ОХА (см. рис. 4, кривая 1').

Повышение содержания мелкодисперсных глинистых частиц в очищаемой воде, с учетом высокого расхода коагулянтов при дефторировании, стимулирует процессы гетерокоагуляции и седиментации и обуславливает снижение C_{Al} (см. рис. 5), что согласуется с данными [1, 3, 6].

На рис. 6 представлены зависимости содержания остаточного фтора от дозы основных солей алюминия при дефторировании воды с разным исходным содержанием глинистых частиц. Как видно, при дозировке обоих реагентов в диапазоне 5,4 – 21,6 мг/дм³ в процессе очистки воды с начальной мутностью 2,0 и 3,5 мг/дм³ наблюдается практически равная степень очистки от ионов фтора (кривые 2, 2', 3, 3'). При этом, если снижение содержания дисперсных частиц каолина до 0,5 мг/дм³ обуславливает более высокую дефторизирующую эффективность ОСА 2,0 в сравнении с 5/6 ОХА, то при $M_0 > 3,5$ наблюдается обратная закономерность. Введение ОСА 2,0 в количестве $> 21,6$ мг/дм³ приводит к противоположному характеру изменения кривых $C_F = f(D)$. При этом наблюдается незначительный рост концентрации остаточного фтора, а в случае 5/6 ОХА – повышение степени очистки от F⁻. Следует отметить, что концентрация остаточного фтора значительно ниже ПДК и в зависимости от исходной мутности колеблется в интервале 0,1 – 0,9 мг/дм³. Вид кривых $C_F = f(D)$ для повышенных доз основных солей алюминия может быть связан главным образом с разной степенью их основности и влиянием последней на процессы формирования продуктов гидролиза и дестабилизации дисперсных примесей [6, 8].

Повышение концентрации взвешенных частиц каолина обуславливает возрастание степени извлечения ионов фтора для обоих реагентов, хотя в случае основного хлорида алюминия это влияние более существенно. Так, например, при дозе последнего 21,6 мг/дм³ повышение M_0 в исследуемом диапазоне приводит к снижению концентрации остаточного фтора при использовании 5/6 ОХА и ОСА 2,0 соответственно на ~ 50 и ~ 30 %. Для максимального же расхода коагулянта,

в силу рассмотренного выше характера кривых $C_F = f(D)$, влияние величины мутности существенно возрастает и составляет соответственно 90 и 33%.

Выбор оптимальной дозы ($D_{\text{опт}}$) основных солей алюминия при дефторировании проводили на основании данных, представленных на рис. 4 – 6. Основным критерием было выполнение ранее выбранных условий: $C_F < 1,5$ и $C_{\text{Al}} < 0,2$ мг/дм³ [8].

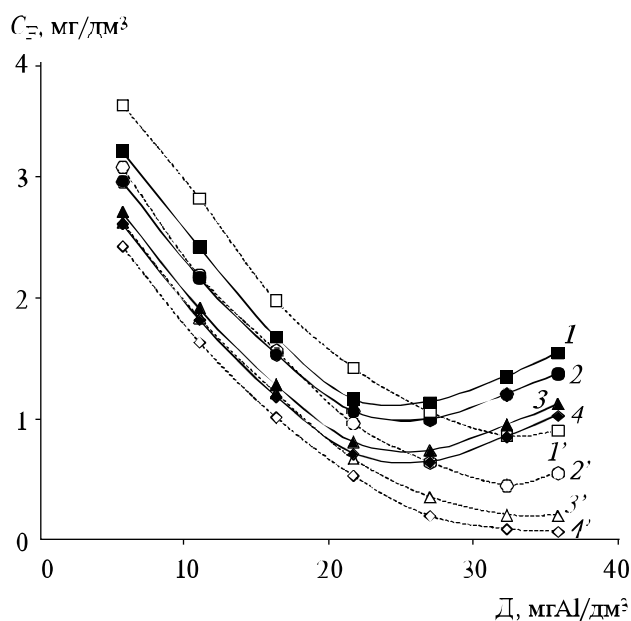


Рис. 6. Зависимость количества остаточного фтора от дозы ОСА 2,0 (1 – 4) и 5/6 ОХА (1' – 4') при очистке воды с исходным содержанием взвешенных частиц 5,0 мг/дм³. M_0 , мг/дм³: 0,5 (1, 1'); 2,0 (2, 2'); 3,5 (3, 3'); 6,0 (4, 4').

Установлено, что при низком содержании взвешенных глинистых частиц ($M_0 = 0,5$ мг/дм³) и выбранных условиях (Π_0 , рН₀), несмотря на необходимое удаление ионов фтора, концентрация остаточного алюминия в воде, обработанной обоими реагентами, должна быть $> 0,2$ мг/дм³, но $< 0,5$ мг/дм³, а в питьевой воде – на уровне 0,2 мг/дм³ [6]. Однако при очистке воды реагентами, которые содержат алюминий, концентрация последнего допускается до 0,5 мг/дм³. С учетом изложенного, $D_{\text{опт}}$ определяли как минимальный расход реагента, при котором концентрация ионов фтора и алюминия была соответственно $< 1,5$ и 0,5 мг/дм³.

На рис. 7 показано влияние содержания взвешенных частиц каолина на оптимальную дозу основных солей алюминия. Как видно, повышение исходной мутности в исследуемом диапазоне обуславливает снижение $D_{\text{опт}}$ как ОСА 2,0, так и 5/6 ОХА. Причем указанное влияние более существенно в случае основного хлорида. Так, увеличение M_0 в 12 раз вызывает снижение оптимального расхода ОСА 2,0 и 5/6 ОХА соответственно на ~ 25 и 40 %. Анализ кривых $D_{\text{опт}} = f(M_0)$ указывает, что для вод с $M_0 < 2,5$ расход ОСА 2,0 меньше, чем 5/6 ОХА, а для вод с более высоким содержанием дисперсных примесей наблюдается обратная тенденция. Основными факторами, определяющими характер кривых $D_{\text{опт}} = f(M_0)$, как было указано выше, являются степень основности алюминиевых коагулянтов и разная природа аниона в их составе.

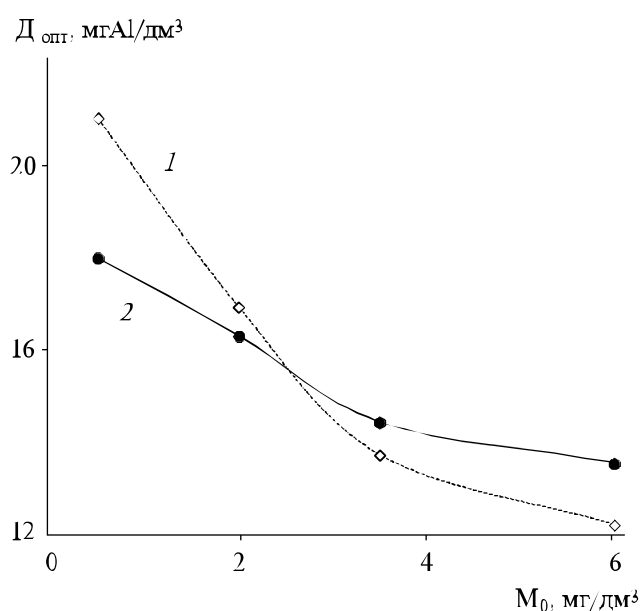


Рис. 7. Влияние концентрации взвешенных глинистых частиц на оптимальную дозу коагулянтов 5/6 ОХА (1) и ОСА (2) при дефторировании воды.

Выводы. Таким образом, проведенные исследования показали, что, во-первых, дефторирующая эффективность основных солей алюминия существенно зависит от содержания в очищаемой воде взвешенных глинистых примесей, и, во-вторых, целесообразно использование ОСА 2,0 для дефторирования маломутных вод, а 5/6 ОХА – для вод с относительно высоким содержанием взвешенных примесей. Кроме

того, применение основных солей алюминия позволяет очищать воду с более высокой концентрацией ионов фтора.

Резюме. Вивчено вплив вихідного вмісту йонів фтору ($2,0 - 8,5 \text{ мг/дм}^3$) та дрібнодисперсних домішок каоліну ($0,5 - 6,0 \text{ мг/дм}^3$) на ефективність сульфату (СА), основного сульфату (ОСА 2,0) та основного хлориду (5/6 ОХА) алюмінію в процесі дефторування води. Встановлено, що заміна сульфату алюмінію його основними солями дозволяє не тільки зменшити витрати коагулянту, але й відкриває можливість очищення вод з більш високим (на 27 – 35 %) забрудненням йонами фтору без додаткового введення лужних агентів. Показана перспективність використання ОСА 2,0 для дефторування маломутних вод (підземні джерела), а 5/6 ОХА – для вод з відносно високим вмістом завислих домішок.

A.V. Mamchenko, N.G. Gerasimenko, T.A. Pahar

EFFECT OF FLUORINE IONES AND ARGILLACEOUS PARTICLES CONCENTRATION ON EFFICIENCY OF ALUMINIUM COAGULANTS IN DEFLUORINATION OF WATER.

Summary

Impact of the original content of fluorine ions ($2,0 - 8,5 \text{ mg/dm}^3$) and fine-dispersed admixtures of kaolin ($0,5 - 6,0 \text{ mg/dm}^3$) on the efficiency of aluminium sulphate (CA), basic aluminium sulphate (OCA 2,0) and basic aluminium chloride (5/6 OXA) in the process of defluorination of water had been investigated. It was ascertained that replacing aluminium sulphate by its basic salts not only allows decreasing the expenditure of the coagulant, but also gives the possibility of cleaning water with a 27 – 35 % higher contamination by fluorine ions without additional usage of alkaline agents. The investigation has shown the prospects of using OCA 2,0 for defluorination of waters with low turbidity (underground springs), and using of 5/6 OXA for the waters with relatively high contents of suspended admixtures.

Список использованной литературы

- [1] *Meenakshi K., Maheshwari R.C. // J. Hazard. Materials. – 2006. – 137, N1. – P. 456–463.*

- [2] *Fawell J., Bailey K., Chilton J. et al.* Fluoride in Drinking-water. – Geneva: WHO, 2006. – 134 p.
- [3] *Жовинский Э.Я., Крюченко Н.О.* // Вода і водоочистні технології. – 2003. – № 2. – С. 46–50.
- [4] *Meenakshi K., Garg V.K., Renuka K.* // J. Hazard. Materials. – 2004. – 106. – P. 85–97.
- [5] *Nagendra Rao C.R.* // Proc. of the Third Int. Conf. on Environ and Health, (Chennai, India, 15 – 7 December, 2003). – Chennai, 2003. – P. 386–399.
- [6] *Goncharuk V.V., Solomentseva I.M., Gerasimenko N.G.* // J. Water Chem. and Technol. – 1999. – 21, N2. – P. 8–36.
- [7] *Хижняк О.О.* Автореф. дис... канд. техн. наук. – Київ, 2008. – 20 с.
- [8] *Мамченко А.В., Герасименко Н.Г., Пахарь Т.А.* // Вода і водоочистні технології. – 2010. – № 1. – С. 21–31.
- [9] *Бювети Києва. Якість артезіанської води /За ред. В.В. Гончарука.* – К.: Геопринт, 2003. – 110 с.
- [10]. *Пат. 1006377 СССР, МКИ 3 C 01 F 7/74 / А.К.Запольский, И.И.Дешко, Л.А.Бондарь и др.* – Опубл. 23.03.83, Бюл. №11.
- [11] *Вода питна. Нормативні документи.* – Львів: Леонорм, 2001. – Т. 2. – 232 с.

Поступила в редакцію 07.06.2013 г.