

УДК 628.337

Н.П. ЯЛОВАЯ, П.П. СТРОКАЧ

Брест, БрГТУ

ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОЕ УДАЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Электрохимические методы очистки воды, одним из которых является метод электрокоагуляции, основанный на получении сорбента (гидроксида алюминия или железа) в процессе анодного растворения алюминиевых или железных электродов, относят к наиболее экологически чистым технологиям водоподготовки. Гидроксид алюминия, получаемый электрохимическим растворением металла, обладает высокой сорбционной активностью по отношению к загрязнениям воды, особенно к SiO_2 [1]. Использование данного процесса позволяет эффективно удалять из воды взвешенные и органические вещества, железо, кремний, фитопланктон, бактерии и другие загрязнения [2]. В процессе электрохимической очистки снижается содержание кислорода в воде [3], вода не обогащается раствори-

мыми солями, так как дозируемый алюминий полностью удаляется из воды в виде гидроксида осветлением. Применение этого метода не требует высококвалифицированного обслуживания, позволяет отказаться от складских помещений и громоздкого реагентного хозяйства; его можно осуществлять в компактном и автоматически действующем электрокоагуляторе.

Целью выполненных исследований явилось изучение влияния физико-химических, электрических и гидродинамических факторов на электрокоагуляционную очистку воды от взвешенных веществ, железа, кислорода, кремния, фитопланктона и других загрязнений, определение основных технологических параметров процесса, а также выявление условий применения данного метода для предварительной очистки воды с минимальными расходами алюминия и электроэнергии.

Исследования проводились на модельной воде в электролизере из органического стекла вместимостью 1,5 дм³. Алюминиевые аноды и катоды из нержавеющей стали собирали пакет с расстоянием между пластинами 5 мм. Площадь рабочей поверхности анодов составляла 1050 см². Для изменения мутности воды готовили эталонные замутнители по стандартным методикам, изменение цветности производили почвенной вытяжкой. Концентрацию кремнекислоты и железа в воде регулировали введением в речную воду силиката натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ («хч») и сульфата железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ («хч»), показатели содержания фитопланктона в воде изменяли введением культуры синезеленых водорослей *Mikrocystis aeruginosa*.

Влияние величины pH на процесс удаления высокодисперсных частиц мутности, веществ, обуславливающих цветность воды, железа, кремния, кислорода и фитопланктона изучали подкислением или подщелачиванием исходной воды 0,1 н. растворами H_2SO_4 или NaOH . Водородный показатель определяли при помощи иономера И-130.2М-1. Температуру воды изменяли от +5 до +80°C термостатированием. Вода в электролизер поступала из бака вместимостью 100 л, расход воды через электролизер регулировали от 1 до 300 дм³/ч. Остаточные железо, кремний, мутность, цветность в отфильтрованной воде определяли фотоколориметрически на КФК-3, кислород – на термооксиметре НН 9142.

Изучение влияния изменения температуры исходной воды от +5 до +80°C (таблица 1) на удаление загрязнений показало, что гидроксид алюминия, полученный электрохимическим методом, обладает высокими сорбционными свойствами по отношению к исследованным загрязнениям в широком диапазоне изменения температуры. Однако следует отметить, что наиболее благоприятно протекает процесс удаления загрязнений при температуре +20 °C и выше.

Таблица 1 – Влияние температуры на качество воды, прошедшей электрохимическую обработку

Показатели качества воды	Исходное значение	После электрокоагуляции при температуре, °С								
		+5	+10	+20	+30	+40	+50	+60	+70	+80
Цветность, град	110	13	13	12	11	11	10	10	9	9
Мутность, мг/дм ³	150	9	8	6	6	5,5	5,5	5,5	5	5
Кремний, мг/дм ³	21,4	7,5	7,4	7,2	7,1	6,8	6,8	6,7	6,8	7,5
Железо, мг/дм ³	10,2	4,2	4,0	4,0	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	4,0
Кислород, мг/дм ³	8,5	4,5	3,6	3,15	2,6	1,8	1,35	1,1	0,37	0,32
Фитопланктон, кл/см ³	38000	1000	950	680	520	430	170	0	0	0

Примечание – доза Al^{3+} 5 мг/дм³; плотность тока 2 мА/см²; рН 7,0.

Способность электрохимически полученного гидроксида алюминия сорбировать загрязнения из воды в широких пределах изменения температуры выгодно отличает его от химических коагулянтов, например таких, как сульфат алюминия, технологические свойства которого при низкой температуре воды резко ухудшаются.

Влияние активной реакции исходной воды на эффективность ее электрохимической обработки изучалось в интервале рН от 3,7 до 10,3. Установлено, что оптимальные значения рН при обескремнивании воды находятся в пределах 6,5–9,0 (рисунок 1); наилучший эффект обезжелезивания достигается при рН = 8,2 и выше; оптимальное обесцвечивание, удаление клеток фитопланктона и мелкодисперсных частиц мутности из воды наблюдается при рН от 4 до 7; на процесс обескислороживания воды величина рН не оказывает значительного влияния.

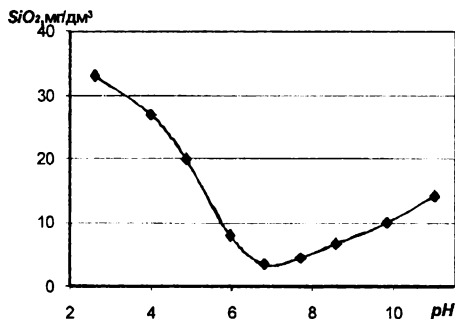


Рисунок 1 – Зависимость электрохимического обескремнивания от рН

Изучение влияния мутности и цветности воды на эффективность ее обескремнивания и обезжелезивания показало, что высокодисперсные глинистые частицы крупностью 1–4 мкм, обуславливающие мутность поверхностных вод, улучшают процесс, а повышенное содержание в воде гумусовых веществ ухудшает его. Так, при увеличении мутности исходной воды с 5 до 100 мг/дм³ эффективность обескремнивания возрастает с 38 до 48,2 %, а обезжелезивания – с 20,0 до 32,5 % (таблица 2). Улучшение процессов обескремнивания и обезжелезивания воды при увеличении ее мутности объясняется дополнительной сорбционной способностью высокодисперсных глинистых частиц, которые интенсифицируют процесс коагуляции гидроксида алюминия, способствуя образованию более крупных и прочных хлопьев [4].

Таблица 2 – Влияние мутности и цветности на обезжелезивание воды

Расход обрабатываемой воды, дм ³ /ч	Доза алюминия, мг/дм ³	Остаточная концентрация железа (мг/дм ³) при мутности (М) и цветности (Ц) воды		
		М = 5мг/л, Ц =30 град.	М = 5мг/л, Ц = 150 град.	М = 100 мг/л, Ц =30 град.
200	1,5	17,2	17,8	16,2
100	3,0	13,9	14,2	12,8
60	5,0	11,2	11,5	9,9
30	10,0	6,6	6,3	4,7
15	20,0	0,3	0,5	0,0
8	37,0	0,0	0,0	0,0

Примечание – во всех опытах исходное содержание железа составляло 25 мг/дм³, рН=6,8; электролиз проводился при плотности тока 2мА/см².

Возрастание остаточного содержания кремния и железа с повышением цветности воды (рисунок 2) объясняется экранированием части адсорбционно-активной по отношению к кремнию и железу поверхности гидроксида алюминия гумусовыми соединениями [2].

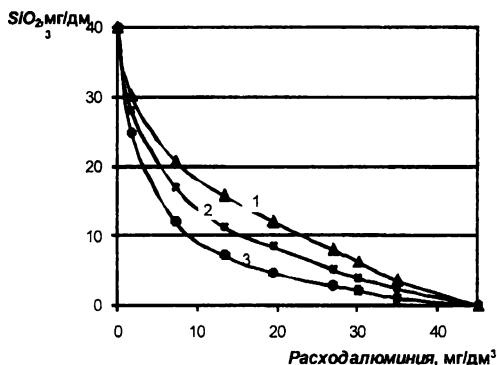


Рисунок 2 – Влияние цветности воды на процесс электрохимического удаления кремния (цветность воды 80 (кривая 1), 60 (2), 26 (3) град)

Результаты исследований по влиянию на процесс обескремнивания, обезжелезивания и обескислороживания воды гидродинамических факторов и плотности тока на электродах показали, что эффективность удаления кремния, железа и кислорода в воде в динамических условиях повышается. Изменение скорости движения воды по отношению к поверхности электродов от 1,5 до 80 м/ч на эффект обескремнивания и обезжелезивания почти не влияет; он зависит в основном от дозы гидроксида алюминия, сорбирующего кремний и железо; обескислороживание при увеличении скорости движения воды ухудшается.

Так как удаление кислорода из воды связано в основном с его катодной ионизацией ($O_2 + 4e^- + 2H_2O \rightarrow 4OH^-$) и химическим окислением алюминия ($4Al + 3O_2 \rightarrow 2Al_2O_3$), то ухудшение процесса обескислороживания с возрастанием скорости движения воды можно объяснить замедлением реакции ионизации [3]. Последнее связано с тем, что не весь кислород, содержащийся в воде, успевает подойти к катодной поверхности и часть воды уходит с начальным содержанием кислорода.

С увеличением плотности тока резко увеличивается расход электроэнергии, а эффективность удаления кремния и железа из воды снижается, обескислороживание воды несколько возрастает. Приемлемой величиной плотности тока следует считать 1–2 мА/см², а напряжения на электродах – 2,5–4 В.

Наиболее экономично использовать данный процесс для освобождения воды от основной массы загрязнений (60–80 %). В этом случае при небольших расходах алюминия и электроэнергии достигается резкое снижение содержания в воде кремния, железа, цветности, мутности, фитопланк-

тона и кислорода. При небольших расходах обрабатываемой воды электрохимический метод может использоваться и для глубокого удаления загрязнений из воды. В последнем случае потребуются повышенные расходы алюминия и электроэнергии. Например, для полного обескремнивания исходной воды с содержанием $40 \text{ мг/дм}^3 \text{ SiO}_2$ при плотности тока 2 мА/см^2 расход алюминия составил 50 г/м^3 , а электроэнергии – $0,6 \text{ кВт ч/м}^3$.

Исследования показали, что электрокоагуляционный метод высокоэффективен, имеет ряд экологических преимуществ перед химическими методами очистки: вода дополнительно не обогащается ионами солей, меньше образуется отходов, упрощается технология, уменьшаются производственные площади и складские помещения. Результаты исследований показали, что метод может успешно использоваться для предварительной подготовки воды ряда промышленных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яловая, Н.П. Исследование процесса электрохимического обескремнивания поверхностных вод / Н.П. Яловая // Вестник БГТУ. Физика, математика, химия. – 2003. – № 5(23). – С. 91–93.
2. Кульский, Л.А. Технология очистки природных вод: учебник для вузов / Л.А. Кульский, П.П. Строкач – К. : Высш. школа, 1986. – 352 с.
3. Яловая, Н.П. Исследование влияния физико-химических, электрических и гидродинамических факторов на процесс обескислороживания поверхностных вод / Н.П. Яловая, П.П. Строкач // Вестник БГТУ. Физика, математика, химия. – 2003. – № 5(23). – С. 94–96.
4. Запольский, А.К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение / А.К. запольский, А.А. Баран. – Л. : Химия, 1987. – 208 с.