

Л. А. КУЛЬСКИЙ • П. П. СТРОНАЧ • В. А. СЛИПЧЕНКО • Е. И. САЙГАК

ОЧИСТКА ВОДЫ ЭЛЕКТРО- КОАГУЛЯЦИЕЙ

КНЕВ., БУДІВЕЛЬНИК • 1978

Очистка воды электрокоагуляцией. Кульский Л. А., Строкач П. П., Слипченко В. А., Сайгак Е. И. Киев, «Будівельник», 1978, 112 с.

В книге освещены физико-химические и электрохимические процессы, происходящие в электролизерах с растворимым электродом; изложено влияние физико-химических, электрических и гидродинамических факторов на процесс растворения и пассивации электродов, а также на удаление из воды различных загрязнений.

Приведены технологические и конструктивные расчеты электролизеров с растворимыми электродами, а также рекомендации по выбору оптимальных технологических режимов процесса электрокоагуляции.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией сооружений и устройств водоподготовки.

Ил. 52. Табл. 31. Список лит.: 145 назв.

Рецензент *доктор техн. наук М. А. Шевченко*
Редакция литературы по коммунальному хозяйству

ПРЕДИСЛОВИЕ

Высокие темпы роста промышленного и жилищно-бытового строительства в нашей стране, все возрастающий уровень благоустройства жилого фонда, увеличение объема промышленного производства и усложнение технологических процессов в промышленности требуют резкого увеличения темпов развития водопроводного хозяйства и значительного улучшения качества воды, подаваемой потребителям.

Выполнение этих задач, намеченных решениями партии и правительства, требует не только строительства новых и расширения существующих водопроводов, но также разработки и внедрения эффективных методов обработки воды и создания новых типов водоподготовительной аппаратуры.

Одним из путей ускорения научно-технического прогресса в водоподготовке является дальнейшая электрификация и автоматизация различных технологических процессов.

Прогрессивным направлением в технологии очистки природных и сточных вод является применение электрохимических методов, в частности, метода очистки воды в электролизерах с растворимыми электродами, известного в литературе под названием «электрокоагуляция».

Этот метод обеспечивает высокий эффект удаления из воды загрязнений в виде взвесей (минерального, органического и биологического происхождения), коллоидов (соединений железа, веществ, обуславливающих цветность воды и т. д.), а также отдельных веществ, находящихся в молекулярном и ионном состоянии. Существенным преимуществом электрокоагуляции перед реагентными методами очистки воды является возможность отказа от строительства громоздких очистных сооружений, занимающих значительные производственные площади. Эксплуатация установок может быть значительно упрощена вследствие того, что электрохимические процессы легко поддаются механизации, управлению и автоматизации. Электрокоагуляция позволяет осуществлять процесс очистки воды в компактных, автоматически действующих и легко обслуживаемых установках и особенно удобна для небольших автономных объектов (на судах речного флота, в сельском хозяйстве, для малых поселков и т. д.).

Современное развитие теплоэнергетики, радиоэлектроники, целлюлозно-бумажных, текстильных и других производств предъявляет повышенные требования к качеству воды, особенно к содержанию в ней соединений кремния, железа, солей жесткости, кислорода, органических и других веществ. Однако еще

нет достаточно простых и высокоэффективных методов предварительной подготовки воды. Высокая сорбционная способность электрохимически получаемой гидроокиси алюминия по отношению к загрязнениям воды и ряд других преимуществ метода электрокоагуляции позволяют использовать этот метод для очистки технических, питьевых и сточных вод.

Обширные исследования проведены в Академии наук УССР по изучению влияния различных факторов на процесс пассивации и растворения электродов при электролизе и удалению загрязнений из воды, а также условий применения данного метода при очистке хозяйственно-питьевых и технических вод. Их результатом явилась разработка комплексного электрохимического метода и технологии очистки воды для хозяйственно-питьевых и технических нужд, а также методики технологического и конструктивного расчета пластинчатого электролизера с алюминиевыми электродами.

Эти разработки прошли производственную проверку на Дарницкой ТЭЦ в Киеве, где были использованы для предварительной подготовки воды в процессе ее обессоливания. Блок электрокоагуляционной очистки входит в состав водоочистных установок на судах речного флота. Электрокоагуляция находит также широкое применение при очистке сточных вод, содержащих суспендированные и коллоидные растворы нефтепродуктов, масел и жиров. Весьма эффективно и экономически выгодно применение данного метода для осветления железорудных, угольных и глинистых суспензий и других загрязнений.

Таким образом, использование сорбционных свойств гидроокисей металлов, получаемых при электролизе, является высокоэффективным, а иногда единственным способом извлечения из воды загрязнений. Вместе с этим возможность осуществления процесса очистки воды в компактных и автоматически действующих установках делают применение метода электрокоагуляции особенно перспективным.

Глава I. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСТВОРИМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Природная вода представляет собой многокомпонентную гетерогенную систему, включающую грубодисперсные, коллоидные, молекулярные и истинно растворенные вещества. Кроме того, природная вода является электролитом, так как растворенные в ней газы, минеральные и органические вещества в той или иной степени диссоциированы на ионы, а коллоидные и взвешенные вещества в большинстве случаев несут определенный заряд.

При погружении в воду электродов и подводе к ним напряжения достаточной величины начинается перенос электрического тока движущимися к электродам ионами в электролите и электронами во внешней цепи (рис. 1); на поверхности электродов при этом происходят разнообразные электрохимические реакции.

В случае применения растворимых металлических электродов электродный процесс сопровождается совокупностью электрохимических явлений и реакций, скорость которых согласно законам электрохимической кинетики определяется общим значением потенциала на границе металл — раствор, составом раствора и условиями диффузии компонентов или продуктов реакции в растворе.

В результате электролиза происходит процесс восстановления или окисления на электродах компонентов, составляющих электролит, сопровождаемый приобретением или потерей электронов частицами реагирующего вещества. В переносе тока принимают участие все находящиеся в воде ионы, а также коллоидные и взвешенные частицы, несущие заряд. Степень участия определяется их относительной концентрацией и подвижностью [9, 69], выражаемой уравнением

$$\lambda_{\infty} = F(U_{\kappa} + U_{\text{a}}),$$

где λ_{∞} — эквивалентная электропроводность, $\text{см}^2/\text{ом. г-экв}$; F — число Фарадея (96500 κ или 26,8 а-ч); U_{κ} и U_{a} — абсолютные скорости движения катиона и аниона, $\text{см}^2/\text{ом. г-экв}$.

Коллоидные и взвешенные частицы в связи с малой подвижностью переносят незначительную часть тока. В основном перенос электричества в природных водах осуществляют катионы K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} и анионы HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- , а также ионы H^+ и OH^- , всегда содержащиеся в воде (табл. 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамкин А. Д. Об очистке воды при помощи постоянного электрического тока. — «Электричество», 1925, № 2.
2. Авдиевич Н. М., Кудряшов Г. П., Захаров М. А. Электрохимический способ очистки воды. — «Городское хозяйство Москвы», 1958, № 10.
3. Айзенштейн П. Г. и др. Химикофлотационный и электрофлотационный методы очистки сточных вод. — «Нефтепереработка и нефтехимия», 1964, № 3.
4. Айлер Р. К. Коллоидная химия кремнезема и силикатов. М., Госстройиздат, 1959.
5. Акагами Хидео. Фундаментальное исследование обработки загрязненных вод методом поляризационной конверсии. — «Денки Гаккай Дзасси», 1962, № 11.
6. Акимов Г. В. Теория и методы исследования коррозии металлов. М., Издательство АН СССР, 1959.
7. Акользин П. А. Коррозия металлов паровых котлов. М., Госэнергоиздат, 1957.
8. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия. М., «Высшая школа», 1969.
9. Алехин О. А. Основы гидрохимии. Л., «Гидрометиздат», 1953.
10. Арчакова Г. А. Применение метода электрокоагуляции для очистки хромосодержащих стоков. — В сб.: «Проблемы использования и охраны водных ресурсов». Минск, «Наука и техника», 1972.
11. Бабенков Е. Д. Методы оптимизации режима работы электролизеров с засыпными электродами. Материалы научно-технической конференции. — В сб.: «Прогрессивные методы очистки природных и сточных вод», № 1, М., 1971.
12. Бабенков Е. Д., Грехова М. В. Закономерности работы электрокоагулятора с биполярными электродами. — В сб.: «Методы очистки и контроль качества воды на железнодорожном транспорте», ЦНИИ МПС, вып. 468, М., «Транспорт», 1972.
13. Бабенков Е. Д. Исследование работы электролизеров с засыпными биполярными электродами. — В сб.: «Методы очистки и контроль качества воды на железнодорожном транспорте», ЦНИИ МПС, вып. 468, М., «Транспорт», 1972.
14. Барелко Е. В., Кабанов Б. Н. ДАН СССР, 1953, 90, 1059.
15. Барышников Т. И., Кунина Л. А. Обеззараживание природных вод электролитическим методом. «Изв. высш. учеб. заведений. Строительство и архитектура», 1968, № 4.
16. Безрук В. И., Лазарев А. Н., Малов В. А., Усъяров О. Г. Изучение взаимодействия дисперсных частиц в электрическом поле. — «Коллоидный журнал», т. 34, вып. 2, 1972.
17. Берестнева З. Я., Корецкая Т. А., Каргин В. А. О механизме образования коллоидных частиц гидроокиси алюминия. — «Коллоидный журнал», т. 13, 1954.
18. Бершова О. И., Коптева Ж. П., Танцюренко Е. В. Взаимоотношения сине-зеленых водорослей — возбудителей «цветения» воды — с бактериями. — В сб.: «Цветение воды». Киев, «Наукова думка», 1968.
19. Белов В. Т. О накоплении анодного оксида алюминия водными растворами неорганических солей. — В сб.: «Анод-68». Научно-техническая конференция Казанского авиационного института, Казань, 1968.

20. Борисов В. А., Голубь Г. В., Чуприн И. Ф. Результаты исследования электролитического коагулирования. — «Водоснабжение и санитарная техника», 1969, № 6.
21. Быстров А. С., Вольфенфельд А. В. Экономическая оценка методов защиты от коррозии внутренних систем горячего водоснабжения. «Научные труды НИИ Гламосстроя», вып. 4, М., 1967.
22. Бычин Н. А., Повх И. Л., Казимиренко Н. В. Исследование электрокоагуляционного метода очистки шахтных вод. — В сб.: «Очистка шахтных вод на предприятиях угольной промышленности», вып. 15. Пермь, 1973.
23. Гамер П., Джексон Д., Серстон И. Очистка воды для промышленных предприятий. М., «Стройиздат», 1968.
24. Герасимов В. В. Коррозия алюминия и его сплавов. М., «Металлургия», 1967.
25. Герасимов И. В. Очистка сточных вод общего стока нефтеперерабатывающих заводов постоянным электрическим током с применением флотации. Труды Уфимского нефтяного института. вып. 3, 1960.
26. Голубев А. И. Анодное окисление алюминиевых сплавов. М., Издательство АН СССР, 1961.
27. Гольцман Л. Н., Завадская И. Е. Определение экономической эффективности механизации и автоматизации в городских водопроводах. М., Издательство МКХ РСФСР, 1962.
28. Гришина Е. Е. Очистка маслосодержащих сточных вод методом электрохимической коагуляции. Труды института Водгео «Очистка промышленных сточных вод», вып. 14. М., Госстрой, 1966.
29. Демуря М. В. Горизонтальные отстойники. Киев, Госстройиздат УССР, 1963.
30. Дерягин Б. В. Теория гетерокоагуляции, взаимодействия и слипания разнородных частиц в растворах электролитов. — «Коллоидный журнал», 1954, № 6.
31. Дмитриев В. Д., Анисимова Е. Н., Гребенник Л. В. К вопросу об очистке цветных природных вод электрохимическим методом. «Санитарная техника». Краткие содержания докладов к 31-й научной конференции ЛИСИ, Л., 1973.
32. Дмитриев В. Д., Семенов В. И. Удаление из воды эмульгированных компонентов замасливателя электролитическими методами. Межвузовский тематический сборник трудов № 2 «Новые исследования сетей и сооружений водоснабжения и канализации», Л., 1974.
33. Дмитриев В. Д., Семенов В. И. Интенсификация процесса электрохимической очистки при обработке высококонцентрированных агрегативно устойчивых дисперсных систем. «Санитарная техника. Водоснабжение и канализация». В сб. трудов ЛИСИ, № 87, Л., 1974.
34. Зайцев В. Ф., Явич С. М. Электрохимическое обескислороживание питательной воды. — «Промышленная энергетика», 1962, № 12.
35. Зельдович Р. Н. Пособие по технико-экономическим расчетам при выборе методов очистки воды. М., Издательство АКХ РСФСР, 1963.
36. Иванов А. И. К методике определения биомассы сине-зеленых водорослей при их массовом развитии. — В сб.: «Цветение воды», Киев, «Наукова думка», 1968.
37. Изгарышев Н. А., Горбачев С. В. Курс теоретической электрохимии. М., Госхимиздат, 1951.
38. Изъюрова А. И., Овчинкин И. П. Очистка воды электролизом с алюминиевыми электродами. — «Гигиена и санитария», 1947, № 3.
39. Изъюрова А. И., Овчинкин И. П. Очистка воды электролизом с применением железных электродов. — «Гигиена и санитария», 1948, № 7.
40. Кабанов Б. Н. Электрохимия металлов и адсорбция. М., «Наука», 1966.
41. Кабанов Б. Н., Зак А. Ч. Растворение алюминия при катодной поляризации. ДАН СССР, Новая серия, т. 72, № 3, 531—534, 1950.

42. Кадоваки М., Акагами Х. Исследование обработки загрязненных вод электролитическими методами. — «Денки Гаккай Дзасси», 1960, № 10.

43. Кастальский А. А., Пальгунов П. П. Применение электрокоагуляции при очистке сточных вод от радиоактивных загрязнений. Очистка промышленных сточных вод. М., ГОСИНТИ, 1963.

44. Клячко В. А., Апельцин И. Э. Очистка природных вод. М., Стройиздат, 1971.

45. Клячко В. А. и др. Труды ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрологии, вып. 29, М., 1971.

46. Колосков С. П., Комаров А. Ф. Подготовка воды в пищевой промышленности. М., Пищепромиздат, 1959.

47. Колотыркин Я. М. Влияние анионов на кинетику растворения металлов. — «Успехи химии», т. 31, вып. 3, 1962.

48. Кондыкин Ю. Я. О механизме образования и кристаллизации гидроксидов алюминия. — «Коллоидный журнал», 1964, № 3.

49. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. М., Издательство АН СССР, 1963.

50. Коррозия реакторных материалов. Сб. статей. М., «Атомиздат», 1960.

51. Корчагин Л. В., Мильковский М. И., Сюй Да-Цюань. Электрокоагуляционный метод осветления суспензий. «Известия АН СССР. Отделение технических наук. Металлургия и топливо», 1959, № 5.

52. Красильщиков А. И., Волчкова Л. М. Электрохимическая очистка воды от кислорода. — «Журнал прикладной химии», т. 17, 1944, № 4—5.

53. Кульский Л. А., Гороновский И. Т., Рыбчинский М. И. Очистка воды коагуляцией под током. — В сб.: «Улучшение технологии очистки питьевой воды». Киев, Издательство АН УССР, 1955.

54. Кульский Л. А., Слипченко В. А. и др. Метод и аппаратура для десеребрения питьевой воды. — В сб.: «Водоподготовка и очистка промышленных стоков», вып. 4, Киев, УкрНИИТИ, 1968.

55. Кульский Л. А., Слипченко В. А., Маляревский А. П. Установка УВС-0,25 для электрохимической очистки и обеззараживания воды на судах речного флота. — В сб.: «Водоподготовка и очистка промышленных стоков», вып. 8, Киев, «Наукова думка», 1969.

56. Кульский Л. А. и др. Физико-химические основы очистки воды коагуляцией. Киев, Издательство АН УССР, 1950.

57. Кульский Л. А., Когановский А. М., Гороновский И. Т. Исследование очистки воды разного состава смешанными коагулянтами и влияние на этот процесс электрического тока. — «Украинский химический журнал», т. 15, вып. 4, 1949.

58. Кульский Л. А. Серебряная вода. Киев, «Наукова думка», 1971.

59. Кульский Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. Киев, «Наукова думка», 1971.

60. Кульский Л. А., Гороновский И. Т. Применение треугольных диаграмм при исследовании процесса очистки воды коагуляцией. — «Украинский химический журнал», т. 15, вып. 1, 1949.

61. Кульский Л. А., Гороновский И. Т., Василенко И. И. Удаление кремнезема из воды гидроокисью алюминия при электролизе. — «Украинский химический журнал», т. 35, вып. 10, 1969.

62. Кульский Л. А., Накорчевская В. Ф., Слипченко В. А. Активная кремнекислота и проблема качества воды. Киев, «Наукова думка», 1969.

63. Кульский Л. А., Строкач П. П., Слипченко В. А. Исследование процесса электрохимического удаления кремния из воды. — «Химическая технология», 1972, № 3.

64. Кульский Л. А., Строкач П. П., Слипченко В. А. Удаление кремнезема из воды при электролизе. — «Украинский химический журнал», т. 37, вып. 11, 1971.

65. Кульский Л. А., Строкач П. П., Слипченко В. А. Исследо-

вание процесса электрохимического обескислороживания воды. — «Электронная обработка материалов», 1972, № 4.

66. Кульский Л. А., Строкач П. П., Слипченко В. А. Комплексный электрохимический метод подготовки воды для технических целей. Киев, «Наукова думка», 1972.

67. Кульский Л. А., Строкач П. П. Исследование и разработка электрохимического метода очистки воды. — «Вестник АН УССР», 1974, № 5.

68. Кунина Л. А. Из опыта электролитического обеззараживания питьевых вод. — «Гигиена и санитария», 1967, № 10.

69. Левин А. И. Теоретические основы электрохимии. М., «Металлургия», 1972.

70. Лосев В. Л. Исследование электрохимического обескислороживания воды. Научные труды НИИ Главмосстроя, вып. 4. М., 1967.

71. Мамаков А. А., Файнштейн Д. Б. Очистка сточных вод электрофлотацией. — «Известия АН Молдавской ССР. Серия физико-технических и математических наук», 1970, № 2.

72. Матвеев М. С., Криворуков М. К. Очистка сточных вод с помощью электрического тока. — «Промышленная энергетика», 1961, № 8.

73. Матов Б. И. Электрофлотация. Новое в очистке жидкостей. Кишинев, «Карта молдовеняске», 1971.

74. Мацнев А. И., Рогов В. М. Применение электрокоагуляции — флотации для очистки сточных вод кожзаводов. Материалы научно-технической конференции «Прогрессивные методы очистки природных и сточных вод», сб. № 2. М., 1971.

75. Милиц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды. М., Гостройиздат, 1964.

76. Наладка и обслуживание установки полного химического обессоливания воды с предочисткой. М.—Л., «Энергия», 1966.

77. Некрасов Б. В. Основы общей химии, ч. II. М., «Химия», 1969.

78. Окамото, Моросуми, Аран. — «Денки Кагаку», 1959, № 27.

79. Палеолог Е. Н., Акимов Г. В. Электродные потенциалы алюминия с защитной пленкой разной толщины. Труды ИФК, ч. I, вып. 2. М., Издательство АН СССР, 1951.

80. Пашенков Л. М., Силин Е. А., Ярославский З. Я. Исследование очистки питьевой воды электрокоагулированием при водоснабжении сельских поселков. Алма-Ата, «Вестник сельскохозяйственной науки», т. 8, вып. 8, 1964.

81. Пискунов П. И. Исследование по электролитической очистке сточных вод. Труды Горьковского инженерно-строительного института. Сб. № 1, 1949.

82. Плужник В. И. Области применения электрокоагуляции. — «Известия Днепропетровского горного института», т. 41, ч. II, 1962.

83. Повх И. Л., Бычин Н. А. Результаты исследования электрокоагуляционного метода очистки шахтных вод. Материалы научно-технической конференции «Прогрессивные методы очистки природных и сточных вод». Сб. № 2. М., 1971.

84. Политковская Н. В. Исследование свойств осадка при электролитической очистке сточных вод. Способы его обработки и утилизации. Труды Горьковского инженерно-строительного института, вып. 25, 1956.

85. Пономарев В. Д., Тараскин Д. А. Влияние электродной пленки на коагуляцию зелей под действием электрического тока. — В сб.: «Научные труды Казахского горно-металлургического института. Геология, горное дело, металлургия», М., 1959, № 16.

86. Рапопорт Я. Д. Условия прохождения тока в засыпных электролизерах при электрическом получении коагулянта. Научные труды АКХ им. Памфилова, т. 7, вып. 76. М., ОНТИ АКХ, 1970.

87. Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природных вод. М., «Недра», 1970.

88. Розенфельд И. Л. Коррозия и защита металлов. М., «Металлургия», 1970.

89. Романов Н. И. Осветление шламовых вод электрокоагуляцией. Труды первой Всесоюзной научно-технической конференции по гидравлической добыче угля. М., 1959.
90. Рыбкин В. П., Борисовский И. В., Новак А. Я. К вопросу об очистке воды от органических примесей методом электрокоагуляции. — В сб.: «Проблемы получения особо чистой воды», Воронежский университет, 1971.
91. Селицкий Г. А. Применение метода электрокоагуляционного восстановления для обезвреживания хромсодержащих сточных вод. — В сб.: «Очистка и повторное использование сточных вод на Урале», № 3. Свердловск, 1968.
92. Скорчелетти В. В. Теоретическая электрохимия. Л., «Химия», 1969.
93. Слепцов Г. В. и др. Об анодном растворении алюминия в процессе электрокоагуляции. — В сб.: «Водоснабжение, канализация, гидротехнические сооружения», вып. 17. Киев, «Будівельник», 1974.
94. Слипченко В. О., Строкач П. П. Вплив фізико-хімічних, електричних і гідродинамічних факторів на процес розчинення алюмінієвого аноду при електролізі. — В сб.: «Наука і техніка в міському господарстві», вып. 27. Київ, «Будівельник», 1974.
95. Слипченко В. А. и др. Удаление микроорганизмов из воды гидроокисью алюминия. — В сб.: «Наука и техника в городском хозяйстве», вып. 28. Киев, «Будівельник», 1975.
96. Слипченко В. А., Стржелецкий В. В., Сайгак Е. И. Установка УВС-0,5 для водоснабжения судов технического флота. Производственно-технический сборник МРФ РСФСР, вып. III, М., «Транспорт», 1972.
97. Слипченко В. А., Сайгак Е. И., Малинка А. Д. Исследование гипохлоритного электролизера с титано-платиновыми электродами. — В сб.: «Санитарная техника», вып. 12. Киев, «Будівельник», 1972.
98. Слипченко В. А. Водоочистная установка небольшой производительности. — В сб.: «Водоподготовка и очистка промышленных стоков», вып. 10. Киев, «Наукова думка», 1972.
99. Строганов Н. С., Бузинова Н. С. Гидрохимия. М., Издательство Московского университета, 1969.
100. Строкач П. П., Слипченко В. А., Кульский Л. А. Влияние состава минеральных примесей воды на процесс ее обескремнивания в электролизере с алюминиевым анодом. «Электронная обработка материалов», 1975, № 5.
101. Строкач П. П., Слипченко В. А. Опытно-промышленная проверка электрохимического метода и установки для предочистки воды Дарницкой ТЭЦ. Всесоюзная научно-техническая конференция «Охрана водных ресурсов от загрязнения и их рациональное использование в народном хозяйстве». Ровно, 1972.
102. Строкач П. П., Слипченко В. А. Влияние анионного и катионного состава минеральных примесей воды на ее очистку в электролизере с алюминиевым анодом. — В сб.: «Научные основы технологии очистки воды». Киев, «Наукова думка», 1973.
103. Строкач П. П., Кульский Л. А. Исследование электрохимического метода предварительной подготовки воды для технических целей в производственных условиях. — В сб.: «Научные основы технологии очистки воды». Киев, «Наукова думка», 1973.
104. Строкач П. П. и др. Исследование процесса очистки воды в электролизере с алюминиевым анодом. — «Электронная обработка материалов», 1973, № 4.
105. Строкач П. П. Влияние различных факторов на очистку воды методом электрокоагуляции. — В сб.: «Поверхностные явления в дисперсных системах». Киев, «Наукова думка», 1971.
106. Строкач П. П. Исследование процесса электрохимического удаления железа из воды. — В сб.: «Санитарная техника», вып. 12. Киев, «Будівельник», 1972.

107. Строкач П. П. Перспективы использования анодного растворения металлов в технологии обработки воды. — «Электронная обработка материалов», 1975, № 4.
108. Строкач П. П. К вопросу изучения механизма обескремнивания воды при электрокоагуляции. — В сб.: «Поверхностные явления в дисперсных системах», вып. 3. Киев, «Наукова думка», 1974.
109. Томашов Н. Д. Теория коррозии металлов. М., Издательство АН СССР, 1959.
110. Томашов Н. Д., Модестова В. Н. Труды ИФХ АН СССР, вып. V, № 4, 1975.
111. Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Пассивность и защита металлов от коррозии. М., «Наука», 1965.
112. Флорианович Г. М., Соколова Л. Н., Колотыркин Я. М. «Электрохимия», 1967, 3, 1027.
113. Фодт Ф. Коррозия и защита от коррозии. М.—Л., «Химия», 1966.
114. Хитров В. А., Шаталова В. И. О влиянии температуры на коррозионную стойкость алюминия в кислых средах — «Журнал прикладной химии», т. 34, вып. 5, 1961.
115. Хорокацу, Акагами. «Денгакуси», № 80, 1960.
116. «Цветение» воды. Труды АН УССР. Киев, «Наукова думка», 1968.
117. Цуда Акира. Электролитический метод обработки воды с применением переменного тока. Мет. Fac. Eng. Hiroshima univ., № 2, 1958.
118. Черноморский А. И., Киселева И. Г., Кабанов Б. Н. «Электрохимия», 1970, 6, 280.
119. Шведов В. П., Якушев М. Ф. Использование электрофореза, электрокоагуляции и электрофлотации для очистки радиоактивных вод. — «Радиохимия», т. 12, вып. 6, 1970.
120. Шемякина О. Н. Фильтрационное обескремнивание воды. — В сб.: «Исследования по водоподготовке». М., Госстройиздат, 1956.
121. Шевченко Л. Л. К вопросу регенерации моющих растворов. — В сб.: «Наука и техника в городском хозяйстве», вып. XI. Киев, «Будивельник», 1968.
122. Шрейдер А. В., Черепахова Г. Л. Коррозионная стойкость и применение алюминиевых сплавов на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах для изготовления конденсационно-холодильного и теплообменного оборудования. М., ЦНИИТЭ, 1966.
123. Эберт Л. Я., Кунина Л. А. Электролитическое обеззараживание воды бездиафрагменным способом. «Гигиена и санитария», № 3, 1962.
124. Эванс Ю. Р. Коррозия и окисление металлов. «Энергия», 1962.
125. Экономика водопроводно-канализационного строительства и хозяйства. Л., Стройиздат, 1972.
126. Якименко Л. М., Модылевская И. Д., Ткачек З. А. Электролиз воды. М., «Химия», 1970.
127. Ярославский З. Я. Исследования электрокоагуляторов для очистки воды. Труды ВНИИГим, т. 43, М., 1965.
128. Altenpohl D. J. "Corrosion", 1962, v. 18, N 4.
129. Bonilla C. F. Possibilities of the electronic coagulator for water treatment "Water and Sewage", 1947, v. 85, N 3.
130. Bothwell M. J. "Electroch. Soc.", 1959, v. 106, N 12.
131. Bryan I. M. "Chemistry and Industry", 1952, v. 23, N 34.
132. Chang S. L. Am. J. "Publ. Health.", 1958, v. 48, N 1.
133. Degremont water treatment handbook. London, 1965.
134. Deltombe E., Pourbaix M. "Corrosion", 1958, v. 14, N 11.
135. Dohnalik Kazimierz. Wyniki badan nad elektrokoagulacja zawiesin w wodzie. "Gaz, woda i techn. sanit.", 1971, N 8.
136. Evans S., Kochler E. "Electroch. Soc.", 1961, v. 108, N 6.
137. Francova V., Symon K., Cervenka R.—Sb. vysoke Skoly chem. tehnol. "Praze technol. vody", 1964, v. 8, N 1.
138. Gilcreas F. M., Kelly S. M. "J. am. water works ass.", 1955, v. 47. 7.

139. Lutsch Peter. Подготовка воды с помощью электрического тока. "Wasser luft und betrieb", 1968, v. 12, N 11.

140. Mendial L., Buonincontro E. Studio electrochimico dee liguami. "Ingenieria conit", 1958, v. 6, N 6.

141. Morsh G. A., Schaschl E. "J. Electroch. Soc.", 1960, 107, 360.

142. Piontelli K. "Chem and Industry", 1957.

143. Scheverdtbeger W. "Water. Protect.", 1964, 3, 14.

144. Seelmeyer G. "Merkstoffe und korrosion", 1956, N 1.

145. Stuart F. E. Electronic coagulation, something about a new method of coagulation water by the use of aluminium plattes and electric current. "Public works magazine", 1947, v. 78, N 4.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Электрохимические и физико-химические процессы, происходящие при электролизе с применением растворимых электродов	5
Глава II. Влияние физико-химических, электрических и гидродинамических факторов на процесс растворения алюминиевого анода	13
Температура воды	13
Активная реакция среды	15
Анионный и катионный состав воды	18
Плотность тока и скорость движения воды по отношению к поверхности электродов	23
Пассивация алюминиевого анода и мероприятия по ее устранению	26
Глава III. Влияние физико-химических и электрических факторов на процесс растворения алюминиевого катода	29
Теоретические аспекты катодной коррозии металлов	29
Влияние солевого состава воды на процесс растворения алюминиевого катода	29
Влияние коммутации и плотности тока на растворение алюминиевого катода	31
Пассивация алюминиевого катода	33
Глава IV. Применение электрокоагуляции в технологии очистки воды	35
Осветление и обесцвечивание воды	35
Удаление из воды сине-зеленых водорослей	42
Удаление бактерий из воды	44
Обезжелезивание воды	48
Обескремнивание воды	53
Обескислороживание воды	62
Десеребрение воды	67
Очистка сточных вод	69
Выбор основных технологических параметров процесса с учетом требований к качеству очищенной воды	75
Глава V. Технологические схемы и установки для очистки воды электрокоагуляцией	79
Конструкции электрокоагуляторов	79
Расчет пластинчатого электролизера с алюминиевыми электродами	83
Установки для очистки питьевой воды	84
Установки для подготовки воды в котельных и бойлерных	92
Установки для предварительной очистки воды перед ее полным обес-соливанием	94
Технико-экономическая оценка эффективности метода электрокоагуляции	99
Литература	104

*Леонид Адольфович Кульский,
Петр Павлович Строкач,
Владимир Александрович Слипченко
Евграф Иванович Сайгак*

ОЧИСТКА ВОДЫ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИЕЙ

Редактор *К. В. Бергер*
Обложка художника *Т. Ф. Полийчук*
Художественный редактор *Н. Г. Аникина*
Технический редактор *Н. С. Подоляк*
Корректор *В. Я. Нетунахина*

ИБ № 267

Сдано в набор 22. 07. 77. Подписано в печ. 16. 01. 78.
БФ 10669. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типогр. № 1. Лиг.
гарн. Выс. печ. Усл. печ. л. 7,0. Уч. изд. л. 7,03. Тираж
7000 экз. Заказ 7—1844. Цена 65 коп.

Издательство «Будівельник», 252601, Киев-3, ГСП,
Владимирская, 24.

Киевская фабрика печатной рекламы РПО «Полиграф-
книга» Госкомиздата УССР, 252067, Киев-67, ул. Выборг-
ская, 84.