

**Забулонов Ю.Л., Кадошников В.М., Литвиненко Ю.В.**

*Институт геохимии окружающей среды*

## **О ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЛОИДОВ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОКСИДА ЖЕЛЕЗА**

*Изучено влияние электромагнитного поля на устойчивость коллоидного раствора гидроксида железа. Показана зависимость устойчивости коллоида от природы электромагнитного поля и времени релаксации. Определено время восстановления первоначальной структуры указанного коллоидного раствора. В качестве источника электромагнитного излучения использовался аппарат вихревого слоя конструкции Логвиненко Д.Д.*

### **Введение**

В Украине около 40% электроэнергии вырабатывают атомные электростанции, в результате работы которых образуется значительное количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Проблемы переработки и захоронения ЖРО требуют новых подходов и решений, чтобы снизить затраты на их переработку, а также повысить безопасность окружающей среды.

Традиционные технологии переработки ЖРО имеют определенные недостатки. При этом определяющее значение для выбора той или иной технологии имеет фазово-дисперсный состав загрязняющего вещества. Поскольку, как известно, существует зависимость между степенью дисперсности примесей и совокупностью процессов их удаления, Л.А. Кульский в своей работе [1] предлагает классифицировать примеси по отношению к дисперсионной среде на четыре группы (грубодисперсные, высокодисперсные, растворимые летучие органические и неорганические вещества, истинные растворы), каждая из которых имеет определенные физико-химические свойства.

В настоящее время, несмотря на существующие современные технологии, есть актуальная потребность в разработке технологии и аппаратурном оформлении, предназначенных для очистки ЖРО от органических веществ и радионуклидов, которые преимущественно находятся в ионной форме. Перспективным направлением в технологии удаления радионуклидов является применение комбинированных методов, которые предусматривали бы одновременное использование методов объемной коагуляции [2], сорбции [3], флотации [4], ферритного метода и других.

В то же время известно [5–7], что обработка водных дисперсий магнитным или электромагнитным полем может существенно изменить агрегативную устойчивость водных дисперсий. В работе [8] показано, что воздействие магнитного поля на суспензию сульфата бария, начиная с момента ее образования, фактически на уже сформированные зародыши  $\text{BaSO}_4$ , привело к увеличению оптической плотности раствора и, следовательно, к возрастанию коагуляции.

Целью нашей работы было исследовать поведение лиофобных коллоидов при воздействии электромагнитного поля разной направленности. В качестве модели для изучения влияния электромагнитного поля на устойчивость коллоидных систем мы выбрали классический лиофобный золь  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  [8], который получают методом гидролиза. Кроме того, использование коллоида  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  было обусловлено тем, что такого типа коллоиды применяются для удаления тяжелых металлов в технологическом процессе водоподготовки [9]. Существуют также технологии, которые позволяют использовать коллоиды магнетита для удаления радионуклидов, находящихся в ЖРО [10].

### **Методика эксперимента**

Для приготовления коллоидного раствора в 400 мл воды, доведенной до температуры кипения, при постоянном перемешивании на магнитной мешалке, в течение 2 часов по каплям добавляли 1 мл 10% раствора  $\text{FeCl}_3$ . Полученный раствор темно вишневого цвета оставляли для «созревания» на 24 часа.

Для оценки устойчивости полученного коллоида определялся «порог коагуляции» (ПК). Величина этого порога  $\gamma$  обычно выражается в моль/л [1]. Она, очевидно, отвечает сжатию двойного электрического слоя до той степени, когда он перестает служить энергетическим барьером, предохраняющим частицы от слипания под действием сил молекулярного притяжения.

$$\gamma = C \cdot \frac{z^3 \cdot (kT)^5}{A^2 \cdot e^6 \cdot z^6} \quad (1)$$

$C$  – константа, слабо зависящая от асимметрии электролита;

$e$  – заряд электрона;

$z$  – валентность противоиона.

Из выражения (1) видно, что ПК ( $\gamma$ ) зависит от Ван-дер-ваальсовской постоянной ( $A$ ), диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ), температуры ( $T$ ) и валентности ( $z$ ) противоиона.

В ряд пробирок емкостью 20 мл вносили по 5 мл коллоидного раствора, к которому добавляли раствор коагулянта в количестве 0,1–1 мл с интервалом 0,1 мл. ПК определяли по появлению опалесценции в отраженном свете лампы накаливания.

Обработку коллоида железа электромагнитным полем проводили в аппарате вихревого слоя (АВС) конструкции Логвиненко Д.Д. [11], который представляет собой реактор, внутри которого расположены тороидальные катушки с заданной индуктивностью.

Раствор коллоида железа помещали в специальный пластиковый контейнер, который устанавливали в рабочую зону аппарата АВС. Образец подвергался воздействию поочередно:

- вращающегося электромагнитного поля (модулировалось с частотой 14–83 кГц);
- продольного (движущегося вдоль емкости с коллоидом) (частота модуляции составляла 18–40 кГц);
- пульсирующего, характеризующегося разнонаправленным градиентом (с модуляцией импульса — 15–25 кГц).

Время выдержки образца в электромагнитном поле аппарата составляло 16 сек, что обусловлено конструкцией самого аппарата.

### Результаты и их обсуждение

Влияние электромагнитного поля на коллоид железа оценивалось по величине порога коагуляции указанного золя. ПК определяли по истечению 0,5 часа и 72 часа после снятия поля (таблица).

Из приведенных в таблице данных видно, что при воздействии электромагнитного поля различной природы на коллоид через 0,5 ч после снятия его действия наблюдается следующее:

- Величина порога коагуляции зависит от природы электромагнитного поля;
- Воздействие вращающегося электромагнитного поля не изменяет порога коагуляции коллоида;
- Продольное электромагнитное поле уменьшает устойчивость коллоидной системы, что выражается в уменьшении ПК с 0,12 до 0,1 моль/л;
- Пульсирующее электромагнитное поле оказывает противоположное действие и приводит к повышению ПК с 0,12 до 0,14 моль/л.

Известно, что коллоидные системы являются термодинамически неустойчивыми [12] и, при определенных условиях, способны к коагуляции с образованием осадка. Для того, чтобы инициировать процесс коагуляции, необходимо уменьшить размеры коллоидных частиц до таких, при которых силы притяжения будут преобладать над силами отталкивания.

Добавление электролита в коллоидный раствор приводит к сжатию диффузионного облака коллоидной частицы и, соответственно, уменьшает величину  $\zeta$  — потенциала до величины, при которой начинается процесс коагуляции. То есть для начала процесса коагуляции необходимо превысить некую минимальную концентрацию

электролита в золе. Для этой цели в нашей работе мы использовали раствор электролита NaCl. Полученные нами результаты, вероятно, объясняются тем, что пульсирующее электромагнитное поле разрыхляет диффузно-ионное облако коллоидной частицы, а продольное — несколько сжимает.

**Таблица.** Влияние электромагнитного поля на величину порога коагуляции золя Fe(OH)<sub>3</sub>

Природа электромагнитного поля	Порог коагуляции, моль/л	
	Время выдержки после снятия поля $\tau = 0,5$ ч	Время выдержки после снятия поля $\tau = 72$ ч
Контроль (без воздействия поля)	0,12	0,14
Вращающееся	0,12	0,14
Продольное	0,10	0,10
Пульсирующее	0,14	0,16

Как считают авторы [13], после магнитной обработки происходит изменение  $\zeta$ -потенциала и коэффициента диффузии коллоидных частиц. Это явление они объясняют увеличением толщины предельного слоя жидкости в результате действия магнитного поля.

Рассмотрим механизм действия магнитного поля на коллоидные растворы. Увеличение коагуляции сформированных коллоидных частиц обусловлено способностью заряженных частиц (ионов) к гидратации и определяется отношением их заряда к радиусу ( $z/r$ ). Это значит, что в результате действия магнитного поля противоионы гидратируются в большей мере, чем больше по размерам ядро мицеллы и это облегчает слипание частиц. Таким образом, эффект от воздействия магнитного поля на коллоидные растворы после магнитной обработки зависит от его природы. Мы считаем, что аналогичные процессы должны происходить в коллоидной системе и под действием электромагнитного поля.

Значительное превышение размеров коллоидных частиц, по сравнению с катионами, обуславливают увеличение промежутка времени, необходимого для релаксации коллоидной системы. Определение ПК через 72 ч после электромагнитной обработки (табл.) показали, что ПК золя Fe(OH)<sub>3</sub>, подвергшегося действию вихревого и продольного электромагнитных полей со временем практически не изменяется. Наиболее заметные изменения со временем проявляет коллоид подвергнутый воздействию пульсирующего электромагнитного поля. Частицы коллоида, подвергнутые воздействию такого поля, в течение первых 0,5 ч релаксации проявляют склонность к коагуляции, в дальнейшем же, они стабилизируются вследствие пептизации агрегата, а устойчивость самой коллоидной системы повышается.

### Выводы

В результате изучения воздействия электромагнитного поля разной природы на состояние лиофобного коллоида железа показано, что:

- Устойчивость коллоида зависит от природы электромагнитного поля и времени релаксации, в течение которого он может восстанавливать свою структуру;
- Наименьшее воздействие на коллоид оказывает вихревое электромагнитное поле;
- Пульсирующее электромагнитное поле способствует стабилизации коллоидной системы, а продольное делает ее более восприимчивой к влиянию извне.

1. Кульский Л.А., Страхов Э.Б., Волошинова А.М., В.А. Близнюкова Вода в атомной энергетике. — Киев. Наук. думка. 1983
2. Шутько А.П., Гомеля Н.Д., Терещенко О.Н. Очистка сточных вод от радиоизотопов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr объемной коагуляции // Труды Междунар. Конф. «Переработка отходов и очистка сточных вод». — Маиуполь. — 1996. — С.53.

3. Шутько А.П., Гомеля Н.Д., Терещенко О.Н. Очистка сточных вод от радиоизотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  сорбционными методами // Труды Междунар. Конф. «Переработка отходов и очистка сточных вод». — Мариуполь. — 1996. — С.51–52.
4. Шутько А.П., Гомеля Н.Д., Терещенко О.Н. Очистка сточных вод от радиоизотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  методом пенной флотации // Труды Междунар. Конф. «Переработка отходов и очистка сточных вод». — Мариуполь. — 1996. — С.51.
5. Баран Б.А. Швидкість хімічних процесів в попередньо омагніченій воді // Вестник Харьковского гос. политех. ун-та. — 1999. — вып. 56. — С. 19–24.
6. Баран Б. А., Дроздовський В. Б. Вплив конфігурації магнітного поля на іонний обмін. Частина II // Вісник технологічного університету Поділля. — 1999. — № 4. — С. 117–119.
7. Баран Б., Венгржановський В. Кріоскопічне дослідження впливу магнітного поля на водні розчини // Львівські хімічні читання-2001. — Львів, 2001. — С. 24.
8. С.С. Воюцкий. Курс коллоидной химии. Издательство «Химия». Москва, 1964.
9. Фрог Б. Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направлению «Строительство» спец. «Водоснабжение и водоотведение» / Г.И. Николадзе (ред.). — М., 1996. — 680с.
10. Радовенчик В.М., Терещенко О.Н., Прус Л.Л. Извлечение изотопов цезия — 137 из водных растворов ферритным методом // Труды Междунар. Конф. «Переработка отходов и очистка сточных вод». — Мариуполь. — 1996. — С.52.
11. «Интенсификация технологических процессов в аппаратах вихревого слоя», Д.Д. Логвиненко, О.П. Шелякова. Изд. «Техника», Киев, 1976.
12. Дерягин Б.В. Современное состояние устойчивости лиофобных суспензий и зольей // Труды 3-й Всесоюз. конференции по коллоидной химии. — М.: Изд-во АН СССР, 1956.
13. Higashitani K., Iseri H., Okuhara K. et al. Magnetic effects on zeta potential and diffusivity of nonmagnetic colloidal particles // J. Colloid. and Interface Sci. — 1995. — V.172, N2.

**Забулонов Ю.Л., Кадошніков В.М., Литвиненко Ю.В. ПРО ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА СТІЙКІСТЬ КОЛОЇДІВ (НА ПРИКЛАДІ ГІДРООКИСУ ЗАЛІЗА)**

*Вивчено вплив електромагнітного поля на стійкість колоїду гідроокису заліза. Показано залежність стійкості колоїдного розчину від природи електромагнітного поля і часу релаксації. Визначено час відновлення первісної структури вказаного колоїдного розчину. В якості джерела електромагнітного випромінювання використовувався апарат вихревого шару конструкції Логвиненко Д.Д.*

**Zabulonov YU.L., Kadoshnikov V.M., Litvinenko U.V. INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELD ON STABILITY OF COLLOIDS (FOR EXAMPLE IRON HYDROXIDE)**

*The electromagnetic field effect on the colloid iron hydroxide stability was studied. Dependence of the colloidal solution stability on the electromagnetic field nature and the relaxation time was established. The time of restoration of the original structure of the source colloidal solution was determined. As a source of electromagnetic radiation we used the apparatus of the vortex layer designed by Logvinenko D.D.*