

УДК 66.06

Насырова Л.А., Полякова А.С. Мурашова Н.М.

## НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ: АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

**Насырова Лиана Альфредовна**, студент 4 курса бакалавриата кафедры наноматериалов и нанотехнологии;

**Полякова Анастасия Сергеевна**, аспирант 3 года обучения кафедры наноматериалов и нанотехнологии;

e-mail: anast.polya@gmail.com

**Мурашова Наталья Михайловна**, к.х.н., доцент кафедры наноматериалов и нанотехнологии.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия.

*В данной статье рассматривается динамика научных публикаций по применению наноструктурированных сред (мицеллы, микроэмульсии, магнитные наночастицы, углеродные нанотрубки) для очистки сточных вод от соединений цветных металлов.*

**Ключевые слова:** наноструктурированные среды, очистка сточных вод, мицеллы, микроэмульсия, магнитные наночастицы, углеродные нанотрубки, экстракция, сорбция.

## NANOSTRUCTURED MEDIA FOR WASTEWATER TREATMENT FROM NON-FERROUS METAL COMPOUNDS: ANALYSIS OF DYNAMICS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Nasyrova Liana Alfredovna, Polyakova Anastasia Sergeevna, Murashova Natalia Mikhailovna

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

*The dynamics of scientific publications on the application of nanostructured media (micelles, microemulsions, magnetic nanoparticles, carbon nanotubes) for wastewater treatment from non-ferrous metal compounds is discussed in the present article.*

**Keywords:** nanostructured media, wastewater treatment, micelles, microemulsion, magnetic nanoparticles, carbon nanotubes, extraction, sorption.

В последние десятилетия возрастает интерес к применению наноматериалов и наноструктур в процессах химической технологии. Так, наноструктуры поверхностно-активных веществ (мицеллы, микроэмульсии, жидкие кристаллы), являются перспективными средами для синтеза наночастиц металлов и их соединений. Мицеллы (реже микроэмульсии) привлекают исследователей в области катализа как среды для проведения ферментативных реакций. Жидкие кристаллы и микроэмульсии используют в качестве реакционной среды для проведения полимеризации. Кроме того, вызывает интерес исследователей использование наноструктур ПАВ в процессах электроосаждения [1].

Большой интерес представляет использование наноструктур в процессах извлечения и разделения веществ. Большое количество работ посвящено применению магнитных наночастиц и углеродных нанотрубок для твердофазной экстракции органических и неорганических веществ. Преимущественно, эти методы предлагаются для выделения и концентрирования веществ в аналитических целях [2]. Мицеллы и микроэмульсии используют для экстракционного извлечения биологически активных веществ, а также ионов металлов [1, 2]. Разработан метод микроэмульсионного выщелачивания – метод извлечения металлов из частиц твёрдой фазы с помощью экстрагент-содержащих микроэмульсий.

Данный метод был успешно применён для выделения меди из оксидного сырья. Отмечается возможность использования микроэмульсионного выщелачивания для извлечения цветных металлов из вторичного сырья, например, гальванических шламов [3, 4].

Целью данной работы является анализ динамики научных публикаций, посвящённых методам очистки сточных вод, а также применению наноструктур – мицелл, микроэмульсий, а также магнитных наночастиц и углеродных нанотрубок, в таких процессах.

Для анализа динамики научных публикаций были использованы возможности международной базы данных научных публикаций ScienceDirect издательства Elsevier (<https://www.sciencedirect.com>). Анализировалось число публикаций за период с 1990 по 2019 год, где целевые понятия входили в название, ключевые слова и аннотацию. Чтобы снизить влияние случайных колебаний числа публикаций по годам, а также лучше выявить тенденцию, использовались данные по числу публикаций за пять лет.

Была проанализирована динамика публикаций по применению различных методов очистки сточных вод (экстракция, сорбция, ультрафильтрация, электрохимические методы очистки – электрокоагуляция, электрофлотация, электроосаждение). Полученные данные представлены на рис. 1.

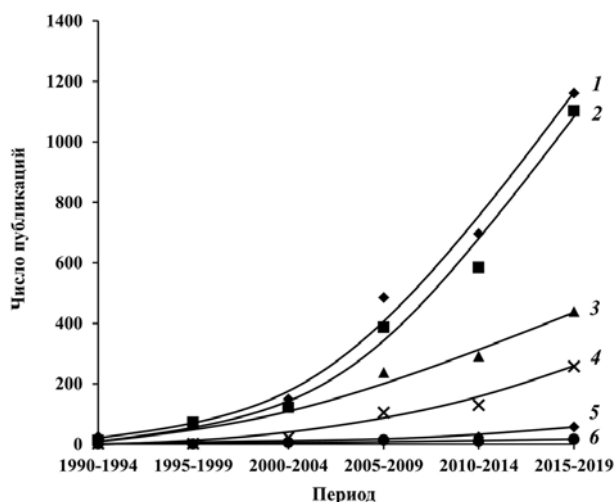


Рис. 1. Динамика публикаций по применению различных методов очистки сточных вод. Поиск по словам: сточные воды (wastewater) плюс: 1 – экстракция (extraction); 2 – сорбция (sorption); 3 – ультрафильтрация (ultrafiltration); 4 – электрокоагуляция (electrocoagulation); 5 – электроосаждение (electrodeposition); 6 – электрофлотация (electroflotation).

Как следует из представленных на рис. 1 данных, наибольший интерес для исследователей представляют экстракционные и сорбционные методы очистки сточных вод. Это может быть связано с простотой аппаратного оформления данных процессов, а также широкими возможностями их использования для очистки сточных вод как от соединений металлов, так и от органических загрязнителей. Среди электрохимических методов очистки сточных вод лидирует электрокоагуляция, однако по числу публикаций данный метод уступает ультрафильтрации. Общее число научных публикаций по методам очистки сточных вод, а также среднее время удвоения числа публикаций представлены в табл. 1.

Таблица 1. Общее число публикаций и среднее время удвоения числа публикаций методом очистки сточных вод от загрязнителей. Поиск по словам: сточные воды (wastewater) плюс метод очистки

Метод очистки	Время удвоения, лет	Общее число публикаций
Экстракция	4,5	2587
Сорбция	4,1	2278
Ультрафильтрация	5,5	1179
Электрокоагуляция	3,2	518
Электроосаждение	4,8	102
Электрофлотация	5,7	44

Несмотря на различие суммарного количества публикаций по каждому методу, скорость роста числа публикаций во всех случаях примерно одинакова, среднее время удвоения числа публикаций для большинства методов очистки составляет 4-5 лет.

Интересно проанализировать динамику научных публикаций, в которых рассматривается состав

загрязнителей сточных вод. Для анализа были выбраны публикации, в которых исследуется проблема содержания в сточных водах соединений цветных металлов – кобальт, никель, медь, цинк, кадмий). Общее число публикаций и среднее время удвоения числа публикаций по содержанию цветных металлов в сточных водах представлено в табл. 2. Лидером по числу публикаций является медь, второе место занимает цинк, среднее время удвоения отличается незначительно.

Таблица 2. Общее число публикаций и среднее время удвоения числа публикаций по проблеме цветных металлов в сточных водах. Поиск по словам: сточные воды (wastewater) плюс металл

Металл	Время удвоения, лет	Общее число публикаций
Медь	5,6	1366
Цинк	5,6	877
Никель	4,7	649
Кадмий	6,6	692
Кобальт	4,0	312

Как отмечалось ранее, наноматериалы и наноструктуры могут использоваться в процессах химической технологии. Был проведен анализ динамики публикаций по использованию для очистки сточных вод мицелл, микроэмульсий, и, для сравнения, магнитных наночастиц и углеродных нанотрубок (рис. 2).

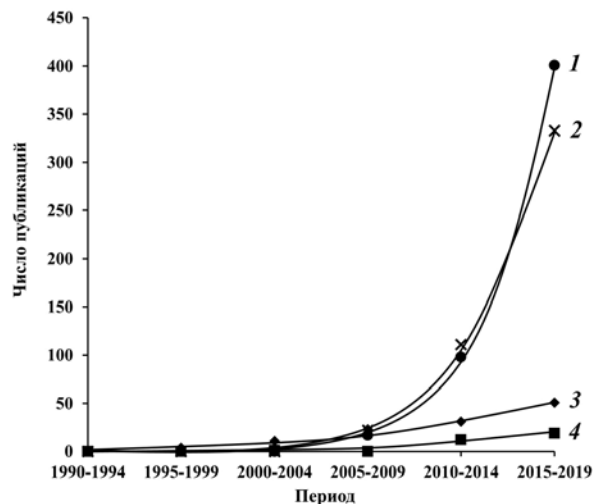


Рис. 2. Динамика публикаций по применению наноструктур для очистки сточных вод. Поиск по словам: сточные воды (wastewater) плюс: 1 – магнитные наночастицы (magnetic nanoparticles); 2 – углеродные нанотрубки (carbon nanotubes); 3 – мицеллы (micelles); 4 – микроэмульсия (microemulsion).

В последние десятилетия наблюдается рост числа публикаций в области применения наноструктур для очистки сточных вод, однако скорость роста различается в зависимости от типа наноструктуры. Исследования по применению магнитных наночастиц и углеродных нанотрубок в процессах очистки сточных вод относятся к группе со «взрывным» ростом в последние 15 лет. Общее число публикаций по данной тематике в период 1990-2015 г. составляет 516 для магнитных

наночастиц, и 466 для углеродных нанотрубок, а среднее время удвоения числа публикаций в обоих случаях – 2,6 года. Исследования, посвященные применению наноструктур поверхностно-активных веществ (мицеллы, микроэмульсии), относятся к группе с долговременным медленным ростом. Общее число публикаций по применению мицелл в исследуемый период составляет 121, время удвоения числа публикаций – 4,6 года. Общее число публикаций по применению микроэмульсий в период 1990-2015 г. составляет 32, время удвоения числа публикаций – 5,5 лет. Полученные результаты отражают выявленную ранее тенденцию динамики публикаций по применению наноматериалов и наноструктур в процессах экстракции [2].

Исследования, посвященные очистке сточных вод от соединений цветных металлов, носят выраженный прикладной характер. Это подтверждается анализом научных журналов, в которых опубликовано наибольшее число статей по рассмотренным направлениям. Статьи, посвященные методам очистки сточных вод от загрязнителей, опубликованы в таких журналах, как «Chemical Engineering Journal», «Journal of Hazardous Materials», «Separation and Purification Technology», «Desalination». Перечисленные журналы относятся к журналам первого квартиля, их импакт-фактор составляет более 5. Интересно отметить, что исследования в области применения наноструктур для очистки сточных вод опубликованы также преимущественно в журналах химико-технологической направленности с высоким импакт-фактором – «Chemical Engineering Journal», «Journal of Hazardous Materials», «Separation and Purification

Technology», при этом ряд публикаций представлен в журналах первого квартиля, посвященных коллоидной химии – «Journal of Colloid and Interface Science» и «Applied Surface Science», а также в журнале «Journal of Membrane Science», где публикации посвящены методам мицеллярно-усиленной ультрафильтрации, а также получению мембран методом полимеризации в бинепрерывной микроэмульсии.

#### Список литературы

1. Мурашова Н.М., Купцова М.Ю. Мицеллы, микроэмульсии и лиотропные жидкие кристаллы как перспективные функциональные наноматериалы для химической технологии // Химическая промышленность сегодня. – 2020. – №6. – С. 64-69.
2. Мурашова Н.М., Полякова А.С., Юртов Е.В. Анализ динамики научных публикаций в областях, связанных с нанотехнологией и экстракцией // Наноиндустрия. – 2017. – №3 (73). – С. 46-55.
3. Полякова А.С., Мурашова Н.М., Юртов Е.В. Микроэмульсии в системах додецилсульфат натрия–бутанол-1–экстрагент–керосин–вода для извлечения цветных металлов из оксидного сырья // Журнал прикладной химии. – 2020 – Т. 93, Вып. 2. – С. 249–256.
4. Murashova N.M., Levchishin S.Yu., Yurtov E.V. Leaching of metals with microemulsions containing bis-(2-ethylhexyl)phosphoric acid or tributylphosphate // Hydrometallurgy. – 2018. – V.175. – P.278–284.