

**Аронбаев Д.М., Насимов А.М., Аронбаев С.Д.**

**Самаркандский Государственный Университет им.**

**А.Навои**

## **ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ**

## **БИОСОРБЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Показана возможность и варианты использования магнитоуправляемого сорбента на основе клеточных стенок пивоваренных дрожжей и наноструктурированного магнетита в биосорбционных технологиях для ремедиации сточных и поверхностных вод.*

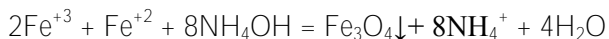
Биосорбционные технологии, предполагающие использование живых или мертвых микроорганизмов различных таксономических групп, находят все большее применение для очистки сточных, поверхностных и питьевых вод от тяжелых металлов, радионуклидов, органических и прочих поллютантов [1,2]. В то же время коммерциализацию биосорбционных технологий сдерживают проблемы технического характера, связанные с эксплуатацией и регенерацией нативного биосорбента. Частично эта проблема решается иммобилизацией биомассы на твердом инертном носителе, например на угле, цеолитах, вермикулите или включением их в альгинатный гель [3]. В этом случае становится возможным применение динамического процесса сорбции, так называемого, «колоночного варианта». Однако, при этом существенно падает сорбционная емкость биосорбента по сравнению со статической биосорбцией. Кроме этого сохраняются проблемы регенерации биосорбента и его замены при полной выработке.

Настоящее исследование ставит перед собой целью разработку «умного» сорбционного материала, обладающего магнитными свойствами, меняющимися в зависимости от напряженности магнитного поля.

Этот эффект достигается тем, что осуществляется совместная иммобилизация биомассы дрожжей *Saccharomyces*

*cerevisiae* и наночастиц (НЧ) синтетического магнетита в Са-альгинатный гель. Тогда, при сохранении достоинств твердых альгинатных биосорбентов, вновь синтезируемый смарт-сорбент становится магнито-управляемым, что должно облегчить его технологическое применение.

Для этого получали магнетит, по технологии, предусматривающей синтез однородных магнитных частиц по реакции, предложенной еще в 1938 г. Элмором.



Основными характеристиками, которыми должны обладать наночастицы магнетита – это

- отсутствие остаточной намагниченности;
- однородность по дисперсности ;
- высокие значения магнитной восприимчивости.

Нами были исследованы возможные факторы, влияющие на образование НЧ магнетита: - мольное соотношение солей железа; природа и концентрация основания; условия синтеза – температура и интенсивность перемешивания [4].

#### **Показано:**

1. Зависимость магнитной восприимчивости от мольного соотношения солей железа носит экстремальный характер с явно выраженным максимумом при значении мольного соотношения Fe(III) и Fe(II), равном 2,5 - 2.75:1 (стехиометрически должно было быть 2:1) Мольное соотношение солей железа (III) к (II) варьировали в интервале от 1 до 4. Брели железо (II) в виде хлорида и сульфата. При использовании FeCl<sub>2</sub> получены более высокие показатели магнитной восприимчивости.

2. При использовании таких оснований, как KOH, NaOH и NH<sub>4</sub>OH предпочтение следует отдавать более слабому электролиту. Установлено, что магнитная восприимчивость наночастиц магнетита убывает в ряду: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup>, т.е. чем сильнее электролит, выбранный для осаждения магнетита, тем меньше магнитная восприимчивость.

3. С увеличением температуры растет скорость образования магнетита, а его максимальный выход можно

получить в интервале температур 30 – 40°C. При температуре 40°C время синтеза составляет менее 2 мин.

4. При увеличении числа оборотов мешалки размер получаемых НЧ магнетита уменьшается, достигая оптимальных размеров при 1000 об/мин.

5. При увеличении концентрации солей железа в реакционной среде наблюдается увеличение среднего диаметра частиц.

На основании эксперимента оптимизированы условия получения наночастиц синтетического магнетита:

- концентрация солей железа 0,5 масс.%;
- мольное соотношение солей железа (III) и (II) 2,5 - 2.75:1;
- концентрация  $\text{NH}_4\text{OH}$  – 8 масс % ;
- $t = 40^\circ\text{C}$ .

Полученные по этой рецептуре наночастицы магнетита имели средний размер порядка 10 – 20 нм.

Синтезированные наночастицы магнетита были нами использованы для создания биосорбционных материалов, предназначенных для ремедиации сточных вод

Ранее проведенные нами исследования адсорбционно-аналитических свойств нативных клеточных стенок дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* показали их приемлемые сорбционные характеристики, позволяющие их использовать в качестве сырья для получения дешевого биосорбента. Поэтому для придания им магнитных свойств поступали следующим образом [5]:

К смеси 1,0 г полученного магнетита и 0,8 г альгината добавляли при перемешивании 20 мл 0,25М фосфатного буфера с рН 6,86 и вводили в смесь 800 мг клеточных стенок дрожжей. После 15 минутного интенсивного перемешивания полученную суспензию продавливали с помощью шприца в 0,2М раствор хлористого кальция. Полученные альгинатные гранулы диаметром 1-1,5 мм с иммобилизованной биомассой дрожжей оставляли в растворе на 30 минут для затвердевания. Гранулы отмывали, удерживая их на дне сосуда с помощью постоянного магнита.

На рисунке 1 приводится фото полученного биосорбента

Оценку сорбционной способности магнитного биосорбента по отношению к ионам тяжелых металлов ( $Pb^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ) проводили методом равновесных концентраций. Для этого к 100 мл модельного раствора иона тяжелого металла с известной концентрацией (5-100 мг/л) добавляли 1 г магнитного биосорбента, встряхивали содержимое на горизонтальном шейкере с частотой 150 об/мин в течение 3 часов.

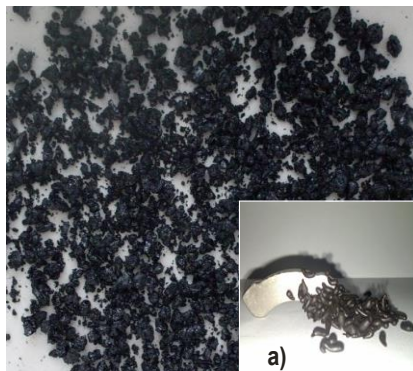


Рис.1- Магнитоуправляемый биосорбент. а) удерживание сорбента постоянным магнитом

Сорбционную емкость магнитного биосорбента находили по разности концентраций ионов тяжелого металла в исходном и конечном растворах с учетом объема раствора и массы биосорбента. Измерения концентраций указанных ионов проводили с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра «Сатурн-1».

Предварительными исследованиями было установлено, что максимальная сорбционная емкость полученного «smart» материала в статическом режиме сорбции, рассчитанная из уравнения Ленгмюра, составляет:  $Cu - 25, 60$  мг/г ;  $Cd - 34,48$  мг/г;  $Pb - 125$  мг/г;  $U - 183,3$  мг/г; фенол – 18,9 мг/г.

Приданные биосорбенту магнитные свойства, позволяют более технологичную его эксплуатацию при концентрировании и извлечении поллютантов из растворов, так как позволяют осуществлять сорбцию в статическом режиме (например, в большой емкости) и облегчают его регенерацию и удаление из реактора после его выработки (как показано рисунке 2).

Применение магнитоуправляемого биосорбента в колоночном варианте сорбции также имеет ряд инженерно-технических преимуществ. Так, например, биосорбент может находиться в компактном состоянии в виде фильтра в магнитном поле соленоида (рис.3).

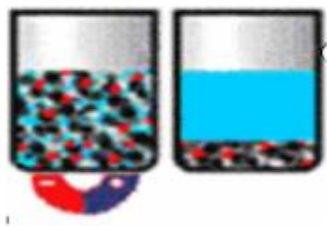


Рис. 2 - Схема осуществления биосорбции в статическом режиме

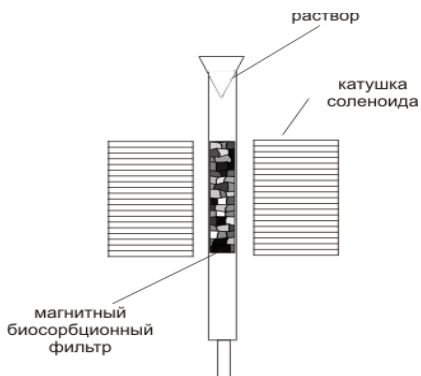


Рис.3 - Колоночный вариант применения магнитоуправляемого биосорбента

При его «заиливании» или необходимости замены, ток соленоида отключается и происходит встряхивание фильтра-биосорбента. Удаётся производить с ним различные профилактические мероприятия. При подаче тока на обмотку соленоида, магнитные частицы биосорбента вновь формируют фильтр, через который будет проходить очищаемая жидкость.

В таблице 1 представлены результаты лабораторных испытаний технологии биосорбционной очистки сточных вод с использованием динамического режима (колоночный вариант). Размеры биофильтра, сформированного в магнитном поле соленоида: 1,5 x 5,0 см; скорость фильтрации 1,5 мл/мин.

Таблица 1  
Сорбция тяжелых металлов из многокомпонентных растворов

Элементы	Cu	Cd	Pb	Zn	Mn	Fe	Co	Ni
Исходная концентрация, мг/л	11,6	8,4	18,8	14,5	3,8	6,6	4,8	9,5
Концентрация раствора после обработки, мг/л	2,2	0,04	0,18	0,14	0,36	0,40	0,33	1,47
Степень извлечения, %	81,0	99,5	99,1	99,0	90,5	93,9	93,1	84,5
ПДК в питьевой воде, мг/л	1,0	0,01	0,1	5,0	0,1	0,3	1,0	0,02

Таким образом, нами продемонстрирована возможность реализации принципиально нового решения для осуществления биосорбционных процессов с целью концентрирования, разделения и извлечения тяжелых металлов, радионуклидов, токсинов в :

- гидрометаллургической, горно-добывающей и горно-перерабатывающей промышленности для извлечения цветных, драгоценных и сопутствующих им металлов;
- на предприятиях ядерного цикла;
- природоохранных мероприятиях;
- аналитической химии для предконцентрирования экотоксикантов и их последующего определения на уровне ПДК и ниже.

Созданы предпосылки для реализации биосорбционных технологий, способных заменить целый цикл производства, использующий дорогостоящие сорбенты природного и синтетического происхождения в различных отраслях промышленности.

#### Библиографический список

1. Volesky B. Biosorption and me// Water Res. - 2007;41.-P 4017–29.
2. Vieira RHSF, Volesky B. Biosorption: a solution to pollution? // Int Microbiol .- 2000;3. –P. 17–24.
3. Аронбаев С.Д., Насимов А.М., Аронбаев Д.М. Сравнительная характеристика методов иммобилизации клеточной биомассы пивоваренных дрожжей на твердых носителях // Научный Вестник СамГУ.- 2015.- №3 (91) - С. 95-102.
4. Аронбаев Д.М., Аронбаев С.Д. , Насимов А.М.и др. Синтез и исследование суперпарамагнитных свойств наночастиц магнетита и магнитных жидкостей на их основе // Научный Вестник СамГУ. - 2013, №5. - С.97-101.
5. Аронбаев Д.М., Насимов А.М., Аронбаев С.Д., Фидирко Е.В. Магнито-управляемые биосорбенты с иммобилизованными в альгинатный гель клеточных стенок пивоваренных дрожжей // Тез. докл. межд. науч.-практич. конф. «Актуальные проблемы науки о полимерах. – Ташкент, 2013. - С.154-156.