

МАГНИТНЫЕ НАНОБИОКАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ИММОБИЛИЗОВАННОЙ ЦЕЛЛЮЛАЗЫ

А.М. Сульман, Д.В. Балакшина, О.В. Гребенникова, В.Г. Матвеева

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», Тверь, Россия

Ферменты целлюлозы, включая целлюлазу, играют важную роль в биотехнологических процессах в пищевой, косметической, моющей, целлюлозно-бумажной и смежных отраслях промышленности [1]. Низкая термическая стабильность целлюлазы и стабильность при хранении, наличие примесей, утечка фермента и непригодность для вторичной переработки являются основными проблемами во всех этих процессах. Они могут быть преодолены путем создания эффективных нанобиокатализаторов на основе целлюлазы, иммобилизованной в порах мезопористого оксида, содержащего наночастицы магнетита [2].

Мезопористые силикаты являются многообещающими кандидатами для иммобилизации ферментов в соответствии с требованиями, предъявляемыми к носителям ферментов: большая площадь поверхности, узкое распределение пор по размерам, четко определенная геометрия пор, их термическая и механическая стабильность и токсикологическая безопасность. Кроме того, поверхность кремнеземных подложек может быть химически модифицирована различными функциональными группами [3].

Один образец носителя был получен путем синтеза наночастиц магнетита (NPS) с последующим нанесением кремнеземной оболочки. Другой носитель был получен *in situ* в результате кристаллизации наночастиц Fe_3O_4 в порах 6 нм коммерческого мезопористого оксида кремния.

Активность иммобилизованной целлюлазы была протестирована при гидролизе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) в сравнении со свободной целлюлазой и составила 71 % для $Fe_3O_4@SiO_2@CEL$ и 87 % для $SiO_2@Fe_3O_4@CEL$ по сравнению с нативным ферментом (рис. 1). Вероятно, что такая разница может быть объяснена различной структурой и различием общей площади поверхности и пористости магнитных носителей.

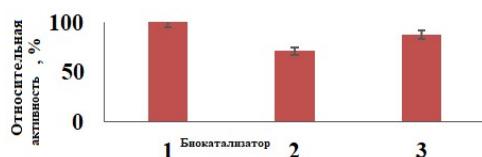


Рисунок 1 – Относительная активность (%) различных биокатализаторов:

- (1) Свободный фермент,
- (2) $Fe_3O_4@SiO_2@CEL$,
- (3) $SiO_2@Fe_3O_4@CEL$

Изотермы адсорбции-десорбции (рис. 2) соответствуют типу IV, обычно наблюдаемому для мезопористых материалов. Сравнение пористости магнитного кремнезема с пористостью исходного образца кремнезема показывает, что общая площадь поверхности уменьшается после образования NP магнетита. Для SiO_2 при соотношении Fe_3O_4 оно составляет 30 %, что указывает на частичную закупорку пор. Распределение пор по размерам остается практически неизменным, что свидетельствует о том, что большинство пор меньшего размера не закупорены.

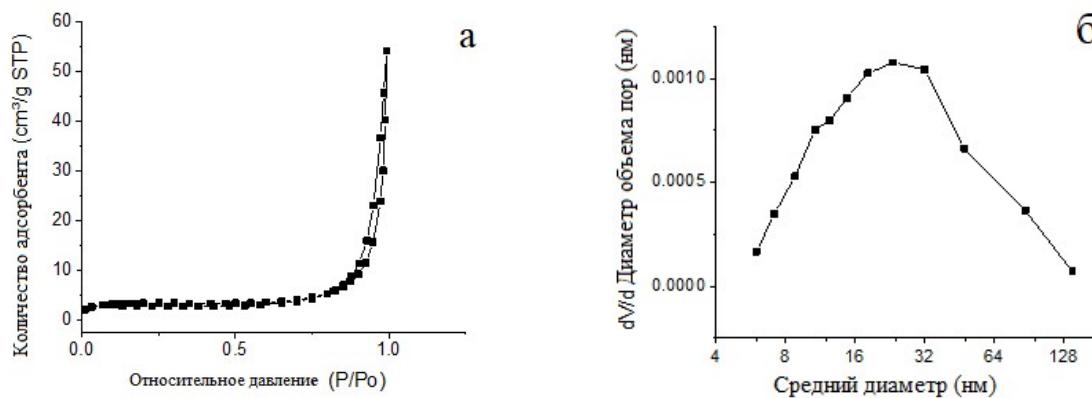


Рисунок 2 – Изотермы адсорбции-десорбции азота (а) и распределения пор по размерам (dV/dD) (б) $Fe_3O_4@SiO_2$

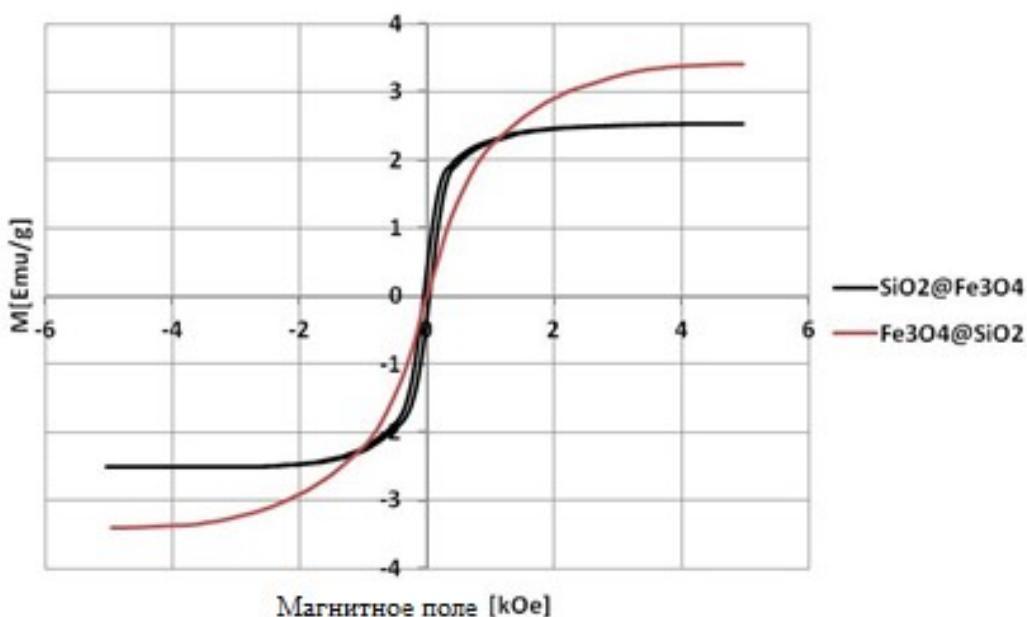


Рисунок 3 – Кривые намагниченности $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ и $\text{SiO}_2@\text{Fe}_3\text{O}_4$

Кривые намагниченности $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ (рис. 3) показывают среднюю намагниченность насыщения $\sim 3,0$ эм/г, что согласуется с малыми магнитными НЧ.

Высокая катализическая активность $\text{SiO}_2@\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CEL}$ в сочетании с легкой магнитной сепарацией и коммерчески доступной исходной кремнеземной подложкой делают этот нанобиокатализатор перспективным для успешной коммерциализации.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда
(грант № 22-79-00052).*

Литература

1. Califano. V., Costantini. A., 2020, Immobilization of Cellulolytic Enzymes in Mesostructured Silica Materials. *Catalysts*, 10, 706.
2. Chen B., Qiu J., Mo H., Yu Y., Ito K., Sakai E., Feng H., 2020, Synthesis of mesoporous silica with different pore sizes for cellulase immobilization: Pure physical adsorption. *N.J. Chem*, 41, 9338–9345.
3. Chengmin H., Ghéczy N., Messmer D., Szymańska K., Adamcik J., Mezzenga R., Jarzębski A.B., Walde P., 2019, Stable Immobilization of Enzymes in a Macro – and Mesoporous Silica Monolith. *ACS Omega*, 4, 7795–7806.