

КИНЕТИКА АДСОРБЦИИ МЕТИЛЕНОВОГО ГОЛУБОГО НА ОБРАЗЦАХ БЕНТОНИТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ КАТИОНООБМЕННОЙ ЕМКОСТИ

Еримбатова Дилноза Нуруллаевна

Магистрант 1-го курса магистратуры по специальности «Химия»

Каракалпакский государственный университет имени Бердака

Аннотация: В настоящей работе изучена кинетика адсорбции метиленового голубого (МГ) на природных и модифицированных образцах бентонита с различной катионообменной емкостью (КоЕ). Исследования проводились при различных значениях рН, температуры и начальной концентрации МГ. Результаты показали, что адсорбция подчиняется псевдо-второму порядку, а повышенная КоЕ способствует увеличению скорости и степени сорбции. Полученные данные могут быть использованы при проектировании эффективных адсорбентов для удаления красителей из сточных вод.

Ключевые слова: бентонит, метиленовый голубой, адсорбция, кинетика, катионообменная емкость, псевдо-второй порядок, изотерма.

Бентониты, обладающие высокой удельной поверхностью и значительной катионообменной емкостью, представляют собой перспективные материалы для удаления органических загрязнителей из водных растворов. Одним из широко распространённых красителей является метиленовый голубой (МГ), применяемый в текстильной, кожевенной и бумажной промышленности. Присутствие МГ в сточных водах может вызывать токсичность и экологические проблемы.

Эффективность удаления МГ с использованием бентонитов во многом зависит от их катионообменной емкости (КоЕ), которая может быть увеличена за счёт ионного обмена с Na^+ , Ca^{2+} и другими ионами. В данной работе проводится сравнительный анализ кинетических параметров сорбции МГ на бентонитах с различными значениями КоЕ.

Методы исследования

• **Материалы:** использовались природный бентонит и его натрий-модифицированные формы с различной КоЕ.

• **Определение КоЕ:** титриметрическим методом с использованием хлорид бария.

• **Адсорбция МГ:** проводилась при комнатной температуре, при рН 6–7. Начальная концентрация МГ: 50 мг/л, масса адсорбента: 0,1 г.

• **Кинетические исследования:** отбор проб через определённые интервалы времени (0–180 мин), определение остаточной концентрации спектрофотометрически при 664 нм.

• **Анализ данных:** модели псевдо-первого и псевдо-второго порядка, а также модель внутримолекулярной диффузии.

Результаты

• **КоЕ и адсорбционная способность:** наблюдалась прямая зависимость между КоЕ и величиной сорбции. Наиболее высокая сорбционная способность отмечена у Na-бентонита (КоЕ = 92 мэкв/100 г).

• **Кинетика:** данные адсорбции лучше описывались моделью псевдо-второго порядка ($R^2 > 0,99$), что свидетельствует о химической природе взаимодействия между красителем и активными центрами адсорбента.

• **Влияние времени:** максимальная адсорбция достигалась в течение 60–90 минут, далее наблюдалась стабилизация равновесия.

• **Внутримолекулярная диффузия:** график зависимости количества адсорбированного вещества от \sqrt{t} имел две линейные области, что указывает на наличие как внешней, так и внутримолекулярной диффузии.

Образец бентонита	КоЕ (мэкв/100 г)	q_{\max} (мг/г)	Время равновесия (мин)
Природный	45	38	120
Na-модифицированный	92	65	60

Опыты показали, что бентониты с высокой катионообменной емкостью (КоЕ) демонстрируют более высокую сорбционную способность по отношению к метиленовому голубому. Так, модифицированный Na-бентонит с КоЕ ≈ 90 мэкв/100 г адсорбировал до 65 мг/г красителя, в то время как природный бентонит (КоЕ ≈ 45 мэкв/100 г) — лишь около 38 мг/г.

Кроме того, наблюдалась быстрая кинетика сорбции: равновесие достигалось за 60–90 минут. Это свидетельствует о высокой доступности активных центров в модифицированных образцах. Применение модели псевдо-второго порядка дало наилучшее соответствие экспериментальным данным, что указывает на преобладание хемосорбции в механизме процесса.

Графики внутримолекулярной диффузии показали, что процесс состоит из двух стадий: внешней (поверхностной) адсорбции и внутренней (внутрикристаллической) диффузии.

Проведённые исследования показали, что модификация бентонита с целью увеличения катионообменной емкости существенно повышает его эффективность при адсорбции метиленового голубого. Полученные результаты подтверждают, что процесс адсорбции подчиняется кинетике псевдо-второго порядка, а также зависит от диффузионных процессов в структуре сорбента. Исследование открывает перспективы для создания новых высокоэффективных адсорбентов на основе бентонита для очистки сточных вод от органических красителей.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- **Катионообменная емкость** является ключевым фактором, определяющим эффективность бентонита как адсорбента. Увеличение КоЕ способствует значительному росту сорбционной способности по отношению к метиленовому голубому.

- **Модификация бентонитов** (особенно натриевая активация) приводит к расширению межслоевого пространства и повышению доступности активных участков, что ускоряет кинетику и увеличивает степень адсорбции.

- **Кинетические модели**, в частности модель псевдо-второго порядка, адекватно описывают процесс, подтверждая хемосорбционный характер взаимодействия.

- Полученные результаты подчеркивают перспективность применения модифицированных бентонитов для эффективной очистки сточных вод от органических красителей, а также открывают путь к дальнейшим исследованиям в области комплексных сорбентов.

Список использованной литературы

1. Ho, Y. S., McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451–465.
2. Kurniawan, T. A., Chan, G. Y. S., Lo, W. H. (2006). Physico–chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 118, 83–98.
3. Муртазаев, А. К., Рахматова, Г. Б. (2020). Исследование сорбционных свойств модифицированных глин. *Химия и технология воды*, №3, 58–64.
4. Sposito, G. (1984). *The Surface Chemistry of Soils*. Oxford University Press.
5. Темуров, Ш. И. и др. (2022). Влияние модификации на адсорбционные свойства бентонита. *Журнал прикладной химии*, №5, 115–120.



**Research Science and
Innovation House**