

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ИЗОТЕРМ АДсорбЦИИ НА ПРИМЕРЕ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Девятаев В.Д.¹

Научный руководитель – педагог дополнительного образования Курмаева А.М.¹

¹АНО ДО «Кванториум НЭЛ»

Devataevvasilij237@gmail.com

Введение

Одной из актуальных тем для современных исследователей остается проблема очистки природных и сточных вод от токсичных загрязнений, а также улавливания парниковых газов. Существует значительное количество методов водоочистки и газоразделения. Наиболее перспективными принято считать адсорбционные технологии, обладающие рядом преимуществ: экономичность, эффективность и возможность регенерации сорбентов [1]. Лидирующие позиции в данной сфере занимают углеродные сорбенты, в частности активированные угли (АУ), обладающие развитой пористой поверхностью и высокой удельной поверхностью. Помимо вышеперечисленных характеристик, АУ содержат разнообразные функциональные группы, обеспечивающие высокую сорбционную активность в отношении широкого спектра загрязнителей [2]. Изучение кинетики процесса адсорбции имеет большое значение для разработки эффективных способов очистки, поскольку позволяет выявить механизм взаимодействия адсорбента и адсорбата, а также определить время достижения равновесия [3]. В данной работе рассматриваются кинетические показатели адсорбции органического красителя на примере активированного угля, а также построение изотермы адсорбции.

Основная часть

Для проведения эксперимента был использован органический катионный краситель - метиленовый синий в качестве адсорбата. Активированный уголь, соответствующий ФС.2.1.0197.18 выступал в качестве адсорбента. Предварительно сорбент прошел гомогенизацию. Затем к пробам раствора метиленового синего с исходной концентрацией 10 мг/л был добавлен АУ. Объем пробы составил 10 мл, масса навески сорбента - 40 мг. Статическая сорбция проводилась в термостате при 25°C. Для определения кинетических показателей использовались следующие временные промежутки: 15, 30, 45, 60 и 120 минут. Дальнейшие измерения проводились с использованием фотометрического метода. По результатам определения оптической плотности образцов, на основе градуировочного графика, была рассчитана остаточная концентрация и величина адсорбции каждого образца в определенные промежутки времени.

Для описания механизма адсорбции применялись две кинетические модели: псевдо-I и псевдо-II порядка. Обработка экспериментальных данных показала, что модель псевдо-второго порядка описывает кинетику адсорбции метиленового синего активированным углем с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,999$. При проверке модели псевдо-первого порядка данный показатель был значительно ниже.

В ходе эксперимента было установлено, что адсорбционное равновесие в системе достигается в течение 60 минут. Для построения изотермы адсорбции была подготовлена серия растворов с начальными концентрациями 0,5 - 5 мг/л. К каждому образцу была добавлена навеска сорбента (40 мг). Пробы выдерживали в термостате при 25°C в течение 60 минут. По истечению времени были рассчитаны равновесная

концентрация для каждого раствора и величина адсорбции. По полученным точкам была построена изотерма, анализируемая по модели Ленгмюра.

Выводы

В ходе проделанной работы было установлено, что время достижения адсорбционного равновесия между метиленовым синим и активированным углем достигается в течение 60 минут. Сравнительный анализ применимости кинетических моделей показал, что полученные данные наилучшим образом описываются моделью псевдо-II порядка ($R^2 = 0,999$). Результаты свидетельствуют о том, что скорость процесса определяется интенсивностью химического взаимодействия с активными центрами адсорбента. При этом наличие участков с различной энергией связывания на поверхности АУ характерно для хемосорбции. Изотерма адсорбции, построенная по модели Ленгмюра позволяет оценить максимальную адсорбционную емкость активированного угля по отношению к катионному красителю и определить характер распределения активных центров по поверхности сорбента. В перспективе планируется изучение кинетики взаимодействия АУ с анионными красителями, а также ионами тяжелых металлов.

Полученные данные могут быть использованы при разработке технологических процессов и схем очистки сточных вод, в частности от органических красителей, с использованием углеродных сорбентов.

Литература

1. И. Л. Шубин, Н. В. Бакаева, А. В. Калаидо. Перспективы использования природных минеральных сорбентов в водоочистке и водоподготовке // Экология урбанизированных территорий. 2025. №1.
2. Ахундов Рамиль Гурбанали Оглу. Сорбционные и структурные характеристики углеродных адсорбентов // Вестник науки и образования. 2019. №22-1 (76)
3. A Review on the Adsorption Isotherms and Design Calculations for the Optimization of Adsorbent Mass and Contact Time. Orla P. Murphy, Mayank Vashishtha, Parimaladevi Palanisamy, and K. Vasanth Kumar // ACS Omega 2023, 8, 20, 17407-17430
4. Ciner, M.N., Özbaş, E.E., Ozcan, H.K. et al. Potential of Physical Activated Carbon Derived from Pyrolyzed Waste Coffee Grounds as an Adsorbent for Dye Removal // Water Air Soil Pollut 237, 528 (2026).