

# Исследование повышения адсорбционной способности 2,4-дихлорфенола с помощью активированного угля $\text{MoS}_2/\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6^*$

Ли Чаоянь

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

[hncjlzy6665@126.com](mailto:hncjlzy6665@126.com)

**Аннотация.** Адсорбент со структурой  $\text{MoS}_2\text{-C-MoS}_2$  был получен методом гидротермальной карбонизации и бескислородной карбонизации. В процессе приготовления структура и физико-химические свойства изменяются путем регулирования массового соотношения адсорбента и КОН (1:0, 1:0,5, 1:1, 1:1,5). Характеристики четырех адсорбентов были проанализированы с использованием методов детектирования SEM, BET, Raman, XRD, FTIR. Решили проблему легкой агрегации адсорбентов  $\text{MoS}_2$  и небольшого количества активных центров. Структура адсорбента стабильна, а максимальная адсорбционная способность составляет 354 мг/г.

**Ключевые слова:** адсорбция биоугля, органический материал, структура адсорбента

## ВСТУПЛЕНИЕ

2,4-дихлорфенол обладает проникаемостью для кожи и биологическим обогащением, что может привести к биологической почечной недостаточности и аномальному воспроизводству потомства. Таким образом, удаление оставшегося 2,4-дихлорфенола из окружающей среды способствует восстановлению окружающей среды и экологии в целом. Технология физической адсорбции широко используется для удаления загрязняющих веществ из водных объектов благодаря своим преимуществам, заключающимся в простоте эксплуатации, возможности вторичной переработки и легком управлении. Дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ) - это недорогой графеноподобный материал с гексагональной слоистой нанолитовой структурой. В углеродсодержащих материалах активные центры нанолитов  $\text{MoS}_2$  распределены по краям. Этот недостаток повлияет на равномерное распределение поверхностных групп и связывание целевых загрязняющих веществ. Поэтому адсорбент был модифицирован с помощью КОН. Введение КОН может устранить вышеуказанные проблемы. С одной стороны, диаметр иона  $\text{K}^+$  меньше, чем расстояние между слоями  $\text{MoS}_2$  (0,69 нм). В щелочных условиях  $\text{K}^+$  проникает в зазор между слоями и отслаивается от нанолитов, образуя канал с низким сопротивлением. С другой стороны, в процессе высокотемпературной карбонизации с ограничением доступа кислорода между КОН и активированным углем будет происходить активационный процесс.

## ПРИГОТОВЛЕНИЕ АДсорбЕНТА

Взвесил 4 г безводной глюкозы, 1,2 г мочевины, 2,28 г тиомочевины, 2,64 г молибденового аммония (S:Mo=2:1) и 0,04 г SDS и растворил их в 100 мл деионизированной воды. Поместил раствор в автоклав и нагревал его при температуре 160°C в течение 6 часов. Разделил твердое и жидкое и поместил их сушиться в сушильную печь. Взвесил 2 г твердого порошка и положил его в 20 мл деионизированной воды. добавил 0 г, 1 г, 2 г и 3 г КОН. Высушился в порошок в сушильной печи при температуре 80°C.

Поместил порошок в трубчатую печь и выдерживал его в течение 1 часа при температуре 600°C. после охлаждения до комнатной температуры, порошок был измельчен, просеян через сито со 100 ячейками, промыт до нейтральной температуры и снова высушен. Эти четыре порошка получили название FLCB-0, FLCB-0,5, FLCB-1, FLCB-1,5.

## АДСОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ

Добавил адсорбенты разного качества в раствор объемом 50 млс начальной концентрацией 100 мг/л. На кривой FLCB-0 дисперсия частиц низкая, и их легко агломерируются в растворе. С 0,01г до 0,07 г коэффициент удаления 2,4-дихлорфенола медленно увеличивался с 18,2% до 26,6%. Достигая равновесного состояния адсорбции при 0,07 г-0,1 г. Коэффициент удаления FLCB-0,5, FLCB-1 и FLCB-1,5 линейно увеличился с 0,01 г до 0,04 г. При весе 0,06 г степень удаления достигала более 96%.

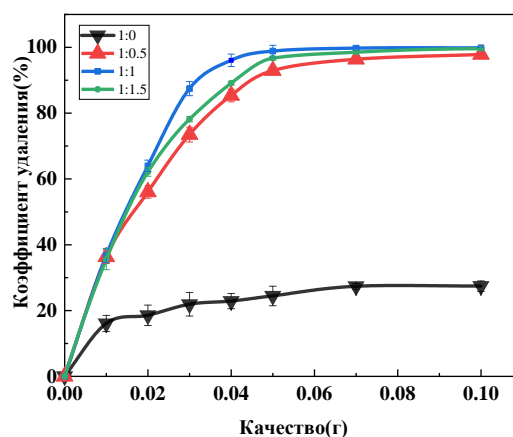


Рис. 1. Влияние на качество

\* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Строительство, архитектура и технобезопасность", <https://iccats.org>

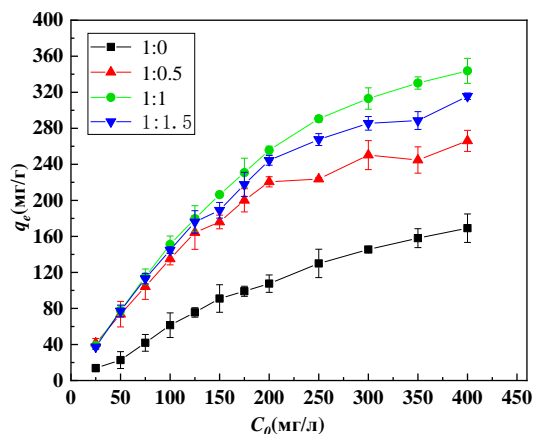


Рис. 2. Влияние начальной концентрации  $C_0$

Чтобы уточнить адсорбционные свойства четырех адсорбентов, провел эксперименты с начальной концентрацией в качестве переменной величины. На рис. 2, концентрация составляет 25 мг/л, 50 мг/л, 75 мг/л, 100 мг/л, 150 мг/л, 200 мг/л, 250 мг/л, 300 мг/л, 350 мг/л, 400 мг/л. Объем раствора составляет 50 мл, а дозировка адсорбента - 0,03 г. Равновесная адсорбционная способность адсорбента составляет  $FLCB-1 > FLCB-1,5 > FLCB-0,5 > FLCB-0$ , и адсорбент может достичь состояния адсорбционного равновесия в течение 1 часа. С увеличением концентрации повышается осмотическое давление между твердым веществом и жидкостью. Диффузионный эффект порового канала приводит к тому, что молекулы растворенного вещества проникают в поровый канал [1]. И в то же время вероятность связывания растворенного вещества с активной группой возрастает, так что адсорбционная способность увеличивается с увеличением концентрации раствора [2]. Это показывает, что КОН способствует увеличению емкости адсорбента. Конкретные причины требуют дальнейшего анализа.

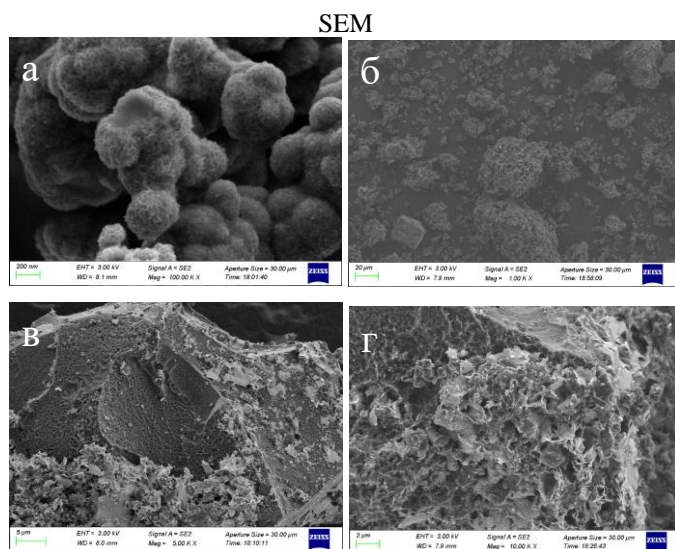


Рис. 3. FLCB-0 (а), FLCB-0,5 (б), FLCB-1 (в), FLCB-1,5 (г)

Адсорбент на рис. 3 (а) представляет собой микросферы, похожие на цветы, и эти микросферы агломерируются, образуя кластерную структуру. На рис. 3 (б) показано, что благодаря добавлению КОН частицы адсорбента начинают диспергироваться. На поверхности появились микропоры неправильной формы, что было вызвано реакцией травления КОН

и С на стадии карбонизации.  $6KOH+2C \rightarrow 2K+3H_2+2K_2CO_3$ ,  $K_2CO_3 \rightarrow K_2O+CO_2$ ,  $K_2O+C \rightarrow 2K+CO$  [3, 4]. На рис. 3 (в) показано, что листовая структура MoS<sub>2</sub> растет на поверхности частиц, но не покрывается полностью. Часть его состоит из плотно расположенных неправильной формы микропор. Соседние микропоры разделяют стенку отверстия. Глубина микропористого канала униформа. Другая часть покрыта рыхлыми нанолитами, и весь покровный слой имеет определенную толщину, образуя глубокие каналы пор, соединенные друг с другом. На рис. 3 (г) показано, что выращенные нанолиты полностью покрывают поверхность частиц, сдавливают друг друга, и толщина накопления увеличивается. Поры становятся узкими и плотными. Активные группы перекрывают и сдавливают друг друга, что приводит к снижению коэффициента использования активного участка. С точки зрения микроструктуры, причина изменения емкости адсорбентов серии FLCB может быть объяснена.

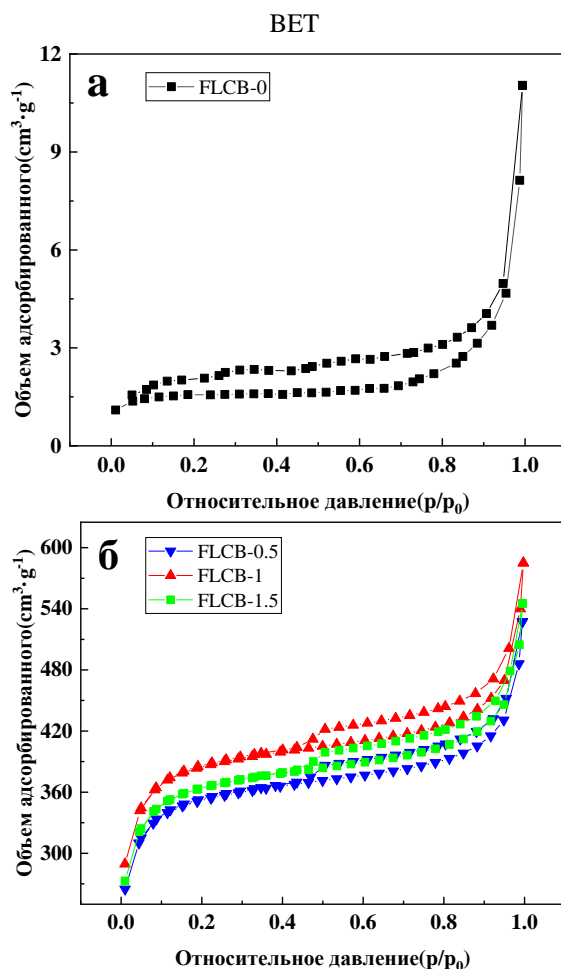


Рис. 4. FLCB-0 (а); FLCB-0,5, FLCB-1, FLCB-1,5 (б)

Таблица 1

Данные о ставках

Адсорбент	Площадь поверхности /( $m^2 \cdot g^{-1}$ )	Средний объем пор /( $cm^3 \cdot g^{-1}$ )	Средний диаметр пор/(nm)	Объем микропор /( $cm^3 \cdot g^{-1}$ )
FLCB-0	5.75	0.007	4.8908	0.0018
FLCB-0.5	1294.98	0.667	2.0613	0.4069
FLCB-1	1417.60	0.726	2.0498	0.452
FLCB-1.5	1339.41	0.690	2.0624	0.4211

На рис. 4 показаны кривые адсорбции и десорбции  $N_2$  четырех адсорбентов, соответствующие характеристикам кривой типа IV  $H_3$ , что указывает на наличие большого количества плоских щелей или трещинных структур в адсорбенте [5]. В табл. 1 указано, что удельная поверхность FLCB-0 составляет  $5,75 \text{ м}^2/\text{г}$ , а средний объем пор составляет всего  $0,007 \text{ см}^3/\text{г}$ . Слой углерода на поверхности частиц заполняет щель  $MoS_2$ , что приводит к уменьшению эффективной удельной поверхности и объема пор. Интегральные значения удельной поверхности FLCB-0,5, FLCB-1 и FLCB-1,5 составляют  $1294,98 \text{ м}^2/\text{г}$ ,  $1417,60 \text{ м}^2/\text{г}$  и  $1339,41 \text{ м}^2/\text{г}$  соответственно. КОН снижает целостность кристаллического слоя  $MoS_2$ , что приводит к большому количеству трещин в структуре листа.

Удельная поверхность и объем микропор расположены в следующем порядке:  $FLCB-1 > FLCB-1,5 > FLCB-0,5$ . Это объясняется тем, что структура листа и пор FLCB-1 относительно однородны, а поверхность FLCB-1,5 заросла скопившимися листами. Таким образом, средний размер пор FLCB-1 составляет  $2,0498 \text{ нм}$ , а объем микропор равен  $0,452 \text{ см}^3/\text{г}$ . Средний размер пор является наименьшим, а общий объем микропор - наибольшим. Высокая площадь поверхности и количество микропор придают FLCB-1 большую адсорбционную способность.

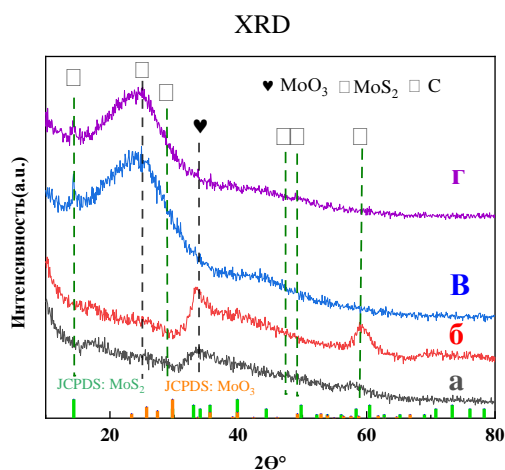


Рис. 5. Гидротермального углерода (а), FLCB-0 (б), FLCB-1 (в), FLCB-1 после адсорбции (г)

Рентгеновская характеристика может дополнительно объяснить структуру углерода, а также изменения формы компонентов и структуры кристаллов, содержащих молибден. На представленных на рис. 5 рентгенограммах "а" и "б" слабые пики около  $26^\circ$  относятся к поверхности аморфного углерода (002) [6], который получают путем гидротермальной карбонизации и высокотемпературной карбонизации без щелочи. Широкие пики "в" и "г" при  $15^\circ$ - $35^\circ$  указывают на то, что на стадии щелочной карбонизации была получена богатая упорядоченная углеродная структура [7]. На рис. 5 представлены четыре кривые "а", "б", "в" и "г".  $14,2^\circ$ ,  $28,9^\circ$ ,  $47,5^\circ$ ,  $48,1^\circ$ ,  $58,96^\circ$ . Дифракционные пики в точке соответствуют  $MoS_2$  (002), (004), (110), (103) и (110) поверхность кристалла. Дифракционные пики гидротермального углерода "а" и FLCB-0 "б" при  $34,4^\circ$  соответствуют поверхности кристалла  $MoO_3$  и поверхности кристалла  $MoS_2$  (110) при  $58,96^\circ$ , соответственно.

По сравнению с гидротермальным углеродом, FLCB-0 имеет более высокую интенсивность дифракционных пиков при  $34,4^\circ$  и  $58,96^\circ$ , что указывает на то, что высокотемпературная карбонизация без щелочи приводит к образованию большего количества промежуточных фаз  $MoO_3$  и  $MoS_2$ . Интенсивность дифракционного пика FLCB-1 ("в") при  $14,2^\circ$  значительно выше, что можно объяснить образованием многослойной гексагональной структуры  $MoS_2$  с поверхностью кристалла (002) при карбонизации при высокой температуре в щелочных условиях [8, 9]. Щелочь способствует росту интеркаляции углеродного слоя и  $MoS_2$ . На дифракционном пике "г" структура пика после адсорбции существенно не изменилась, что означает превосходную стабильность материала.

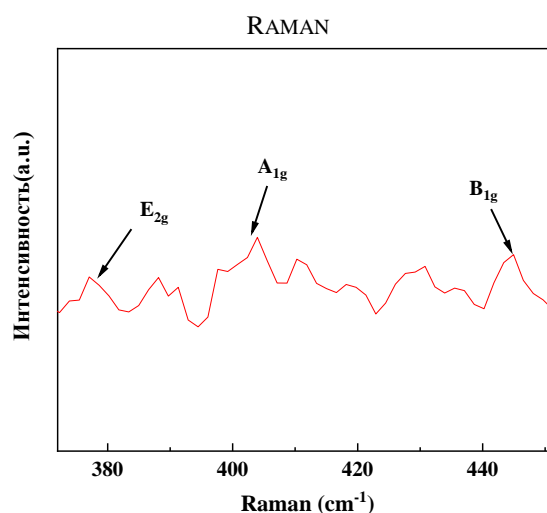


Рис. 6. FLCB-1 Raman

Чистые нанолиты  $MoS_2$  имеют очевидные пики при  $375,64 \text{ см}^{-1}$ ,  $404,87 \text{ см}^{-1}$  и  $449,83 \text{ см}^{-1}$ , которые называются пиками  $E_{2g}$ ,  $A_{1g}$  и  $B_{1g}$  соответственно. Характерные пики  $E_{2g}$  и  $A_{1g}$  на рисунке составляют  $377,05 \text{ см}^{-1}$  и  $403,96 \text{ см}^{-1}$  соответственно. Они отличаются на  $26,91 \text{ см}^{-1}$ . Это значение указывает на наличие блочной структуры C- $MoS_2$ -C в адсорбенте.

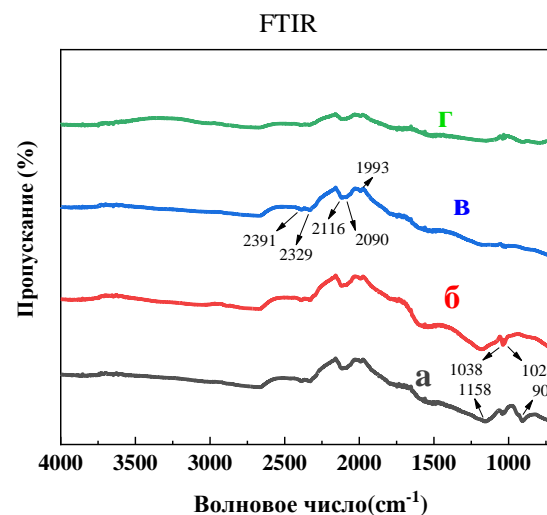


Рис. 7. FLCB-0 (а), FLCB-0,5 (б), FLCB-1 (в), FLCB-1,5 (г)

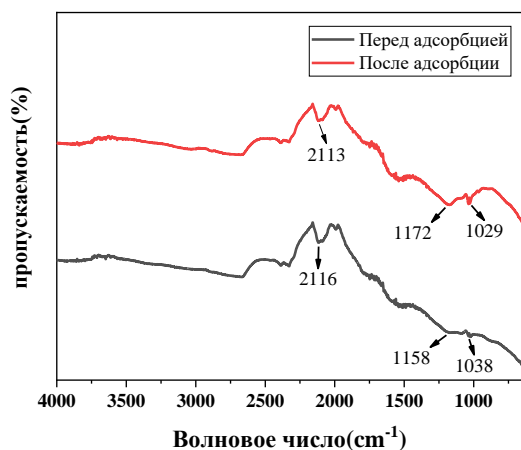


Рис. 8. Сравнение адсорбции

Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье позволяет лучше описать и объяснить химические связи групп на поверхности частиц  $2390\text{ см}^{-1}$  и  $2329\text{ см}^{-1}$  представляют собой асимметричные пики поглощения вибрации и пики поглощения вибрации при изгибе связи С-Н, соответственно, что означает, что адсорбент образует графитовый углерод после карбонизации [10]. Пик поглощения вибрации при растяжении  $\text{-NH}_2$  и пик поглощения вибрации при растяжении С-N расположены на уровнях  $2116\text{ см}^{-1}$  и  $2090\text{ см}^{-1}$  соответственно. В FLCB-0 (а) пик поглощения вблизи  $908\text{ см}^{-1}$  обусловлен изгибными колебаниями О-Н в группе дикарбоновой кислоты [11]. При концентрациях FLCB-0,5 (б), FLCB-1 (в) и FLCB-1,5 (г) КОН приводит к исчезновению пика поглощения, соответствующего  $908\text{ см}^{-1}$  группы карбоновых кислот. Пик поглощения при  $1158\text{ см}^{-1}$  представляет собой асимметричную телескопическую вибрацию С-О-С, а  $1026\text{ см}^{-1}$  - это пик растягивающей вибрации С-О [12]. Интенсивность пиков поглощения в спектрах "а", "б", "в" и "г" постепенно уменьшается, что является результатом травления углеродом и элементарного легирования. Полоса при  $1038\text{ см}^{-1}$  относится к телескопическому пику поглощения вибрации S-O на основе сульфоновой кислоты, что указывает на то, что поверхность материала содержит серосодержащие группы. Пик телескопической вибрации связи Mo-S находится на уровне  $600,26\text{ см}^{-1}$ , что доказывает успешность синтеза наноллистов MoS<sub>2</sub> [12, 13].

После адсорбции полоса растягивающих колебаний  $\text{-NH}_2$  при  $2116\text{ см}^{-1}$  смещается до  $2113\text{ см}^{-1}$ . Полоса растягивающих колебаний сульфокислотной группы S-O при  $1038\text{ см}^{-1}$  смещается до  $1029\text{ см}^{-1}$ . Возможно, что действие водородной связи и  $\pi$ - $\pi$ -связи уменьшает плотность электронного облака в группе, а затем вызывает красное смещение связи. Полоса асимметричных растягивающих колебаний С-О-С, равная  $1158\text{ см}^{-1}$ , смещена в сторону  $1172\text{ см}^{-1}$ . В процессе адсорбции присутствуют водородные и  $\pi$ - $\pi$  связи.

На рис. 9 концентрация  $\text{Na}^+$  с градиентом  $40\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ , а скорость удаления 2,4-DCP при этом уменьшается. Степень удаления загрязняющих веществ составляет 91%, 90%, 85%, 83%, 80%, и 67% при концентрации  $C_0 = 0\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$  -  $200\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ . Степень удаления загрязняющих веществ остается выше 65%. Кроме того, изменение скорости удаления обусловлено сопротивлением жидкости высокой концентрации  $\text{Na}^+$ , что препятствует диффузии 2,4-DCP.  $\text{Na}^+$  связывается с группами в активном центре и образует конкурентную адсорбцию для 2,4-DCP.

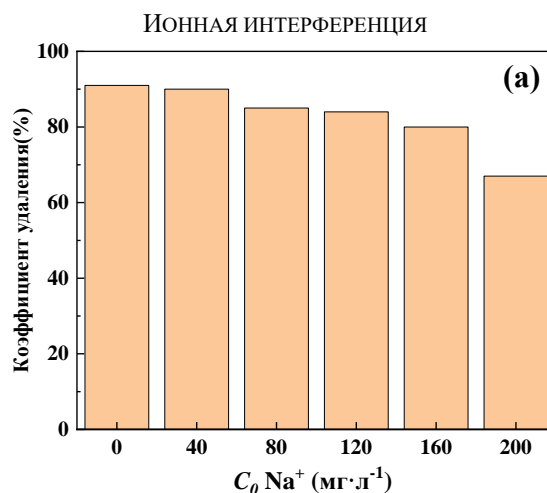


Рис. 9. Конкурентная адсорбция  $\text{Na}^+$

На рис. 10 показано, что степень удаления 2,4-DCP остается более чем на 90% в бинарной конкурентной системе при концентрации ионов интерференции  $50\text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ , а адсорбент обладает превосходной устойчивостью к интерференции. После достижения адсорбционного равновесия скорости удаления различных ионов металлов из раствора были различными, что связано с энергией активации и электростатической силой между ионами металлов и серосодержащими и азотсодержащими группами на поверхности адсорбента.

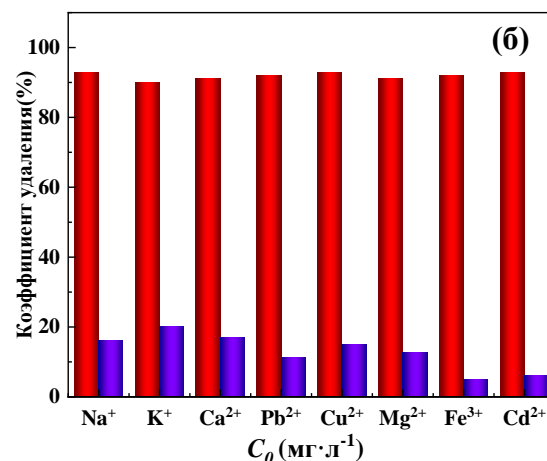


Рис. 10. Конкурентный выпуск

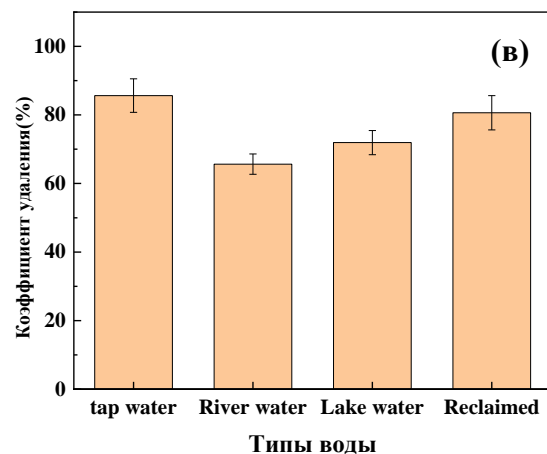


Рис. 11. Воздействие на качество воды



В качестве растворителей были выбраны водопроводная вода, речная вода, озёрная вода и оборотная вода, и было изучено практическое применение адсорбента FLCB-1. Уровни выведения FLCB-1 и 2,4-DCP составили 85,642%, 65,648%, 71,932% и 80,642% при  $m=0,03$  г,  $V=50$  мл и  $C_0=100$  мг·л<sup>-1</sup> соответственно. Адсорбент показал более высокую скорость удаления 2,4-DCP из водопроводной воды. Это связано с тем, что очищенная водопроводная вода и оборотная вода соответствуют стандартам качества воды. Вода в реках и озерах содержит больше гумуса и взвешенных веществ, что препятствует удалению 2,4-DCP с помощью адсорбента.

#### СРАВНЕНИЕ

Для того чтобы прояснить результаты, полученные в зависимости от условий использования исследовательского элемента, в табл. 2 приведена краткая информация о других материалах-адсорбентах. Адсорбционная способность различных типов адсорбентов меньше теоретической адсорбционной способности FLCB-1. Halodule uninervis seagrass biomass carbon 333 мг·г<sup>-1</sup>, но время достижения равновесного состояния адсорбции составляет 24 часа, а эффективность адсорбции ниже, чем у FLCB-1. Таким образом, адсорбент FLCB-1 обладает очевидными преимуществами в адсорбционной способности и эффективности адсорбции.

Таблица 2

Сравнение сорбентов

Адсорбент	Поглощающая способность	Время достижения равновесия адсорбции
biomass template/SnO <sub>2</sub> nanocomposite	46.0 мг·г <sup>-1</sup>	2 ч
polyacrylate-divinylbenzene microspheres	85.3 мг·г	30 мин
yclodextrin-ionic liquid polymer	80.0 мг·г	2 ч
palm pith carbon	19.2 мг·г	100 мин
Halodule uninervis seagrass biomass carbon	333.0 мг·г	24 ч
ethylenediamine rosin-based resin	43.0 мг·г	24 ч

#### ВЫВОДЫ

FLCB-0 имеет плотную структуру на листе MoS<sub>2</sub>, легко агломерируется в растворе и обладает большим сопротивлением диффузии растворенных веществ во время адсорбции. FLCB-0.5, FLCB-1 и FLCB-1.5 имеют богатую пористую структуру и разреженную структуру накопления наночастиц MoS<sub>2</sub>-C-MoS<sub>2</sub>. Легирующие элементы, содержащиеся в поровом канале, образуют C-O, -NH<sub>2</sub> и -SO<sub>3</sub>H. Введение КОН решает проблему агломерации адсорбента и повышает его эксплуатационные характеристики.

#### REFERENCES

- Ouma I.L.A. Thermodynamic, kinetic and spectroscopic investigation of arsenite adsorption mechanism on pine conemagnetite composite / I.L.A. Ouma, E.B. Naidoo, A.E. Ofo-maja // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2018. – no. 6(4). – P. 5409-5419.
- Chen J. Efficient removal of tetracycline from water by tannic acid-modified rice straw-derived biochar: Kinetics and mechanisms / J. Chen, H. Li, J. Li, F. Chen, J. Lan, H. Hou // Journal of Molecular Liquids. – 2021. – no. 340. – 117237.
- Li D. Effects of Alkali/Char Ratio and Activation Temperature on Ultramicropores of Rice Husk Active Carbon / D. Li, T. Ma, Y. Tian, X. Zhu, Y. Qiao // Journal of Inorganic Materials. – 2015. – no.182(01). – P. 17-22.
- Valizadeh S. Highly mesoporous K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and KOH / activated carbon for SDBS removal from water samples: Batch and fixed-bed column adsorption process / S. Valizadeh, H. Younesi, N. Bahramifar // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. – 2016. – no.6. – P. 1-13.
- Shin J. Single and competitive adsorptions of micropollutants using pristine and alkali-modified biochars from spent coffee grounds / J. Shin, Y. G. Lee, S. H. Lee, S. Kim, D. Ochir, Y. Park, J. Kim, K. Chon // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – no.6. – 123102.
- Chen J. Efficient removal of tetracycline from water by tannic acid-modified rice straw-derived biochar: Kinetics and mechanisms / J. Chen, H. Li, J. Li, F. Chen, J. Lan, H. Hou // Journal of Molecular Liquids. – 2021. – no. 340. – 117237.
- Chen T. Adsorption of volatile organic compounds by mesoporous graphitized carbon: Enhanced organophilicity, humidity resistance, and mass transfer / T. Chen, C. Fu, Y. Liu, F. Pan, F. Wu, Z. You, J. Li // Separation and Purification Technology. – 2021. – no. 264. – 118464.
- Shi W. The adsorption performance and micro-mechanism of MoS<sub>2</sub>/montmorillonite composite to atenolol and acetolol: Adsorption experiments and a novel visual study of interaction / W. Shi, Y. Chu, M. Xia, F. Wang, C. Fu // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2021. – no. 213. – 111993.
- Wang H. Cerium-doped MoS<sub>2</sub> nanostructures: Efficient visible photocatalysis for Cr(VI) removal / H. Wang, F. Wen, X. Li, Z. Gan, Y. Yang, P. Chen, Y. Zhang // Separation and Purification Technology. 2016. – no. 170. – P. 190-198.
- Lu J. Adsorption properties of modified straw materials for dye and heavy metals removal in high-salt wastewater / J. Lu, Y. Li, Y. Zhou // Acta Scientiae Circumstantiae. 2019. – no. 39. – P. 3395-3401.
- Chen Z. Parallel-slipped  $\pi$ - $\pi$  electron-donor-acceptor in adsorption process: Molecular dynamics simulation / Z. Chen, W. Ma, G. Lu // Journal of Molecular Graphics and Modelling. – 2021. – 108100.
- Zhang B. Synthesis of quaternary ammonium lignin and its adsorption properties on AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> / B. Zhang, F. Yang, Z. Ma, M. Guo, Y. Liu // Chinese Journal of Engineering. – 2017. – no. 39(282). – P. 1518-1524.
- Zhang Y. Interfacial thermodynamics and kinetics of sorption of diclofenac on prepared high performance flower-like MoS<sub>2</sub> / Y. Zhang, Z. Yin, C. Dai, X. Zhou, W. Chen // Journal of Colloid and Interface Science. – 2016. – no. 481. – P. 210-219.

# Research on Enhancing the Adsorption Capacity of 2,4-dichlorophenol by Activated Carbon MoS<sub>2</sub>/C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>

Li Zhaoyang

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering  
St. Petersburg, Russian Federation

[hncjlzy6665@126.com](mailto:hncjlzy6665@126.com)

**Abstract.** An adsorbent with a MoS<sub>2</sub>-C-MoS<sub>2</sub> structure was obtained by hydrothermal carbonation and oxygen-free carbonation. During the preparation process, the structure and physico-chemical properties are changed by adjusting the mass ratio of adsorbent and KOH (1:0, 1:0.5, 1:1, 1:1.5). The characteristics of four adsorbents were analyzed using SEM, BET, Raman, XRD,

and FTIR detection methods. We solved the problem of easy aggregation of MoS<sub>2</sub> adsorbents and a small number of active centers. The structure of the adsorbent is stable, and the maximum adsorption capacity is 354 mg/g.

**Keywords:** bio-carbon adsorption, organic material, adsorbent structure.

## Библиографическое описание статьи

Ли Чаоянь. Исследование повышения адсорбционной способности 2,4-дихлорфенола с помощью активированного угля MoS<sub>2</sub>/C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2024. – Т.11, №4. – С. 88-93. DOI: 10.24892/RIJIE/20240415

## Reference to article

Li Zhaoyang. Research on enhancing the adsorption capacity of 2,4-dichlorophenol by activated carbon MoS<sub>2</sub>/C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2024, vol.11, no.4, pp. 88-93. DOI: 10.24892/RIJIE/20240415