

March 2024

MODIFICATION OF KU-2-8 CATION EXCHANGER SOLUTIONS OF TITANIUM (IV)

Noila KUCHKAROVA

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan, kuchkarovanoila@gmail.ru

Sadritdin TURABJANOV

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan, tur_sad@mail.ru

Angelina YAKOVENKO

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan, lyako904@gmail.com

Latofat RAKHIMOVA

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan, latofat2011@mail.ru

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

KUCHKAROVA, Noila; TURABJANOV, Sadritdin; YAKOVENKO, Angelina; and RAKHIMOVA, Latofat (2024) "MODIFICATION OF KU-2-8 CATION EXCHANGER SOLUTIONS OF TITANIUM (IV)," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2022: No. 3, Article 5.

DOI: 10.34920/cce202235

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2022/iss3/5>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering. For more information, please contact zuchra_kadirova@yahoo.com.

MODIFICATION OF KU-2-8 CATION EXCHANGER SOLUTIONS OF TITANIUM (IV)

Noila KUCHKAROVA (*kuchkarovanoila@gmail.ru*), Sadritdin TURABJANOV (*tur_sad@mail.ru*), Angelina YAKOVENKO (*lyako904@gmail.com*), Latofat RAKHIMOVA (*latofat2011@mail.ru*)
Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

The aim of the research was modification of commercial sulfonic cation exchanger KU-2-8 with titanium (IV) solutions. The conditions for modifying the cation exchanger depending the concentration of the solution and the time of immersion have been studied in detail. The modification was confirmed by modern physical and chemical methods, such as the method of scanning electron microscope, IR spectroscopy and elemental analysis. The structure of the obtained modified cation exchanger was determined with a change in the surface of the granules, the function of the formation and stability of the complex. The amount of adsorbed titanium (IV) was increased by increasing the initial concentration and the immersion period. The exchange capacity for the copper ion was 2.6 meq/g.

Keywords: modification, complex formation, sorption, adhesion, adsorption

МОДИФИКАЦИЯ КАТИОНИТА КУ-2-8 РАСТВОРАМИ ТИТАНА (IV)

Ноила КУЧКАРОВА (*kuchkarovanoila@gmail.ru*), Садриддин ТУРАБЖАНОВ (*tur_sad@mail.ru*), Ангелина ЯКОВЕНКО (*lyako904@gmail.com*), Латофат РАХИМОВА (*latofat2011@mail.ru*)
Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

Целью исследования является модификация коммерческого сульфокатионита КУ-2-8 растворами титана (IV). Подробно изучены условия модификации катионита в зависимости от концентрации раствора и времени погружения. Модификация была подтверждена современными физико-химическими методами, такими как метод сканирующего электронного микроскопа, ИК-спектроскопия и элементный анализ. Определена структура полученного модифицированного катионита с изменением поверхности гранул, функцией образования и стабильности комплекса. Количество адсорбированного титана (IV) увеличивали за счет увеличения начальной концентрации и периода погружения. Обменная емкость для иона меди составила 2,6 мг-экв/г.

Ключевые слова: модификация, комплексообразование, сорбция, адгезия, адсорбция

TITAN (IV) ERITMALARI BILAN KU-2-8 KATIONINI MODIFIKATSIYALASH

Noila KUCHKAROVA (*kuchkarovanoila@gmail.ru*), Sadritdin TURABDJANOV (*tur_sad@mail.ru*), Angelina YAKOVENKO (*lyako904@gmail.com*), Latofat RAKHIMOVA (*latofat2011@mail.ru*)
Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Tadqiqotning maqsadi tijorat KU-2-8 sulfokationini titan (IV) eritmalari bilan modifikatsiyalashdan iborat bo'ldi. Kationini modifikatsiyalash sharoitlari eritmaning konsentratsiyasi va cho'ktirilish vaqtlariga bog'liqligi batafsil o'rganildi. Modifikatsiyalash jarayoni zamonaviy fizik-kimyoviy usullar bilan isbotlandi, jumladan elektron mikroskopli skanerlash, IQ-spektroskopiyasi va element tahlillaridan foydalanildi. Olingan modifikatsiyalangan kationining tuzilishi granular yuzasining o'zgarishi, kompleksning shakllanishi va barqarorligi funksiyasi bilan aniqlandi. Adsorbsiyalangan titan (IV) miqdorini boshlang'ich konsentratsiyani va cho'ktirish davrini uzaytirish hisobiga oshirildi. Mis ionining almashinish hajmi 2,6 mg-ekv/g ni tashkil etdi.

Kalit so'zlar: modifikatsiya, kompleks hosil qilish, sorbsiya, adgeziya, adsorbsiya

DOI: 10.34920/ece202235

Введение

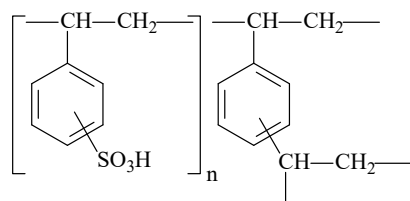
Катионит КУ-2-8 широко применяется в области водоподготовки, химической и пищевой промышленности, гидрометаллургии и в ряду других производств для обессоливания вод. Несмотря на высокую эффективность катионит часто подвергается насыщению ионами тяжелых металлов, таких как железо, марганец, медь, цинк, свинец и др., которые негативно сказываются на процессе умягчения вод. Например, статическая обменная емкость КУ-2-8, по паспортным данным, равна 1.700 мг-экв/мл, но при очистке стоков с высоким содержанием солей жесткости емкость по цветным металлам снижается до 0.012 мг-экв/мл [1]. Решением этой проблемы может стать применение более эффективных катионообменных сорбентов для очистки вод, модифицированных различными функциональными группами [2-7], например, карбоксильными [8-9], аминными [10-11], фос-

форнокислыми [12-16], акилтиофосфорными [17-19], сульфогруппами [20-21] и др. Модифицированные сорбенты обладают высокой селективностью к ионам тяжелых металлов [22]. Повышению сорбционных возможностей способствует увеличение концентрации функциональных поверхностных групп, что достигается предварительной обработкой ионита химическими и термическими способами. Исследование условий модификаций доступных универсальных ионитов представляет большой интерес. Целью данного исследования является модификация универсального сульфокатионита КУ-2-8 пропиткой диоксида титана в растворах минеральных кислот для улучшения сорбции ионов тяжелых металлов.

Методы исследования

Для получения модифицированного сорбента подобран универсальный сульфо-

катионит КУ-2-8, синтезированный на основе дивинилбензола (ДВБ) и стирола. Его структура может быть представлена следующей схемой:



Внешне катионит КУ-2-8 - это гранулы правильной сферической формы светло-желтого или почти белого цвета. Катионит взвешивали по 50 граммов в аналитических весах марки АСЗЕТ СУ-224, с точностью 0,0001г, на базе электромагнитного датчика, изготовленного по технологии MONOTECH. После помещали в трехгорлую колбу снабженную обратным холодильником, термометром и мешалкой. Заливали по 100 мл растворов кислот с концентрацией 5%, 10%, 15%, 20% и 30% и туда же засыпали диоксид титана от 1 до 10 г. Температура в реакционной массе составляла 50-60 °С с постоянным перемешиванием до осаждения диоксида титана на поверхности гранул в течение 120 минут. После реакционную массу подвергали охлаждению до комнатной температуры и оставляли на 3 суток. Полученную массу промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции.

Перед проведением исследования образцы катионитов до и после модификации промывали многократно серной кислотой 5% концентрации, далее промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции промывных вод, затем высушивали при 80-90 °С в сушильном шкафу. Образцы исследовали с помощью СЭМ сочетанием элементного анализа. Наличие гидроксида титана (IV) в структуре катионита определяли на приборе ИК-Фурье спектрофотометре фирмы Shimadzu, обеспеченным призматической пластиной из ZnSe (селенида цинка), принадлежности MIRacle 10 FTIR для IR Affinity-1 измеряемой длины волны от 4600 до 400 см⁻¹. Растертые до состояния тонкой пудры навески смешивали со спектрально чистым бромидом калия, вновь растирали в агатовой ступке и затем запрессовывали в таблетки.

Для модификации поверхностей сорбентов используются различные методы (плазменная обработка, межфазная полимеризация, адсорбционный метод, химическая либо физическая модификация и др.). Как правило, при модификации поверхности вводится дополнительный слой. Кроме того, некоторые другие методы, например, ионная импланта-

ция, способны изменять химическую структуру поверхности гранул сорбента [23]. В работе применяли метод адсорбции для образования нового слоя путем погружения сорбента в раствор, содержащий модификатор, на некоторое время.

Результаты и обсуждение

В результате модификации поверхности сорбента обнаружили, что TiO₂ адсорбировался на поверхности гранул катионита КУ-2-8, образуя слой, равномерно распределяющийся в растворе 20% азотной кислоты (рис. 1).

Структура поверхности исследованных гранул сорбента неоднородна во время его погружения в раствор соляной кислоты в количестве модификатора от 1 до 5 г (а, б). Морфология поверхности также варьировалась в зависимости от концентрации растворителя: поверхность с 20% кислотой была более гладкой, чем с 5%. Увеличение концентрации кислот привело к увеличению плотности гранул. СЭМ-изображения гранул после погружения в раствор 20% азотной кислоты также показали адсорбцию модификатора поверхностной частью катионита (г, д). Поверхность гранул, которые были погружены в раствор азотной кислоты в количестве 5 грамм имела более гладкую морфологию с большим диаметром шариков. С раствором 20% серной кислоты при модификации обнаружили неэффективный результат из-за низкой продуктивности образования солей титана в серной и соляной кислотах. Тип катионов вне каркаса и их молярное и массовое содержание в минерале также можно быстро и точно определить с помощью элементного анализа EDS (рис. 2).

Как видно из спектра, приведенного на рисунке 2, в образце гранул (а) присутствовали восемь различных типов катионов, а именно: углерод, кислород, сера и титан. Интенсивность сигналов этих ионов была совершенно разной, и, в частности, у титана была больше, в то время как натрий, алюминий кремний и железо присутствовали на незначительном уровне. В условиях второго образца гранул (б) присутствуют такие же металлы как и в образце (а), однако было обнаружено меньше единиц титана в растворе 20% соляной кислоты. Полученный результат исследованного образца катионита (а) совпадает с данным, полученными другими авторами [24-25] и соответствует требованиям, предъявляемым к модифицированным ионитам. Железо, кремний, алюминий являются типичной примесью, которая часто встречается в воде в качестве микроэлементов.

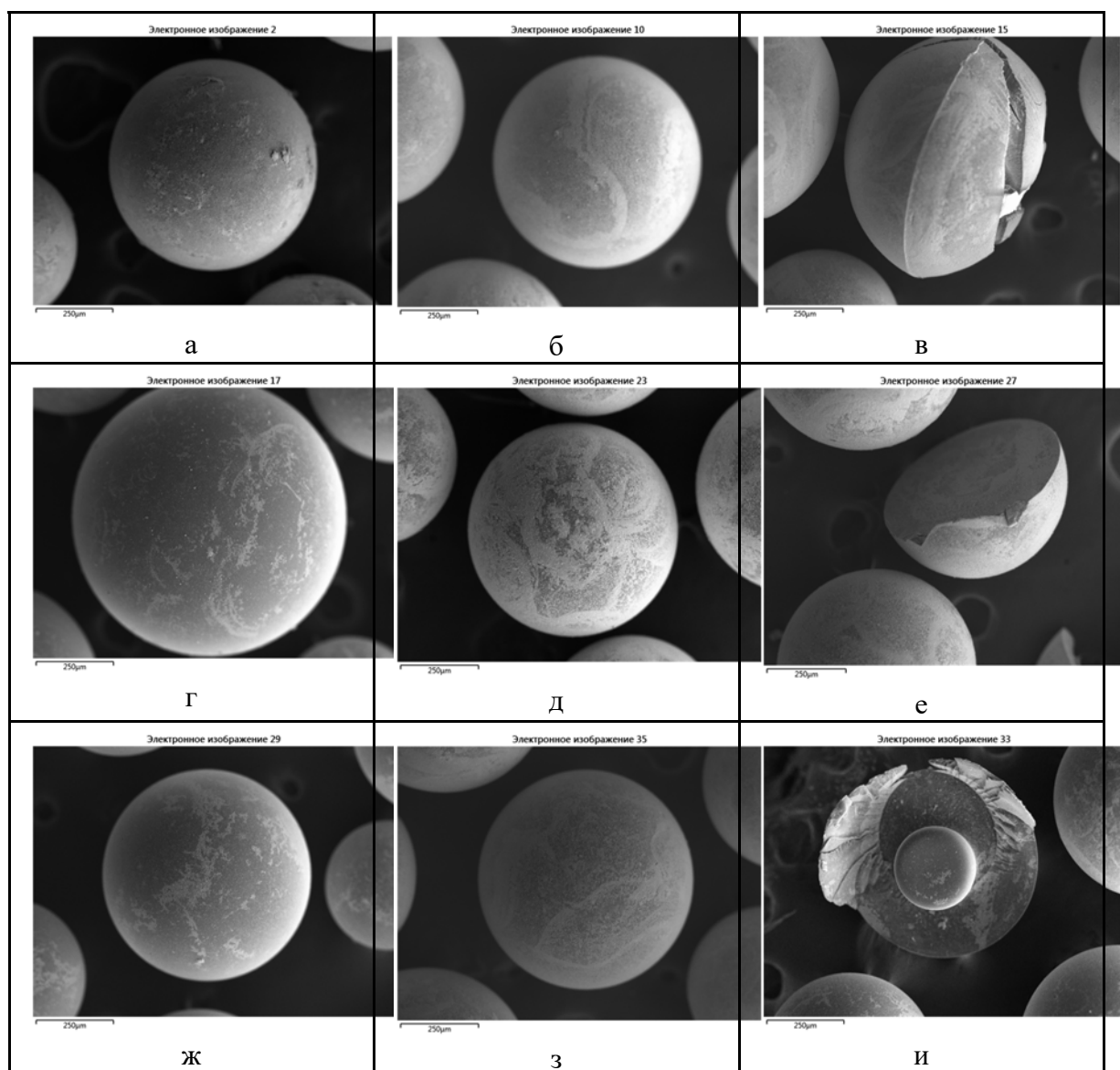


Рисунок 1. СЭМ-изображения поверхности набухших образцов гранул при увеличении 500 (шкала 250 мкм). Погружение частиц смолы в кислоты: а – 1 г 20% HCl; б – 5 г 20% HCl (б); в – в разрезе 5 г 20% HCl; г – 1 г 20% HNO₃; д – 5 г 20% HNO₃; е – в разрезе 5 г 20% HNO₃; ж – 1 г 20% H₂SO₄; з – 5 г 20% H₂SO₄; и – в разрезе 5 г 20% H₂SO₄.

Для подтверждения полученных экспериментальных данных и предположения о природе связывания (модификации) были сняты ИК спектры образцов исходных и модифицированных гранул катионита КУ-2-8. Катионит представляет собой полимер, содержащий главным образом ДВБ и стирол, функциональные группы, обладающие донорными свойствами, сульфогруппу. В ИК спектре эти группы проявляются в виде интенсивных полос поглощения, обусловленные валентными колебаниями связей $-\text{SO}_3\text{H}-$; $-\text{SO}_3-$; $-\text{CH}_2-$; $-\text{CH}_3-$ (рис. 3). В области $2850-2990 \text{ см}^{-1}$ наличие в ИК спектрах образцов сорбента отчетливых полос поглощения при 2926 см^{-1} связано с антисимметричным и симметричным растяжением $-\text{CH}_2-$ и соответствует $-\text{CH}_2-$ группам молекул стирола и ДВБ в макромолекуле сорбента. Валентные колеба-

ния в области $1650-1690 \text{ см}^{-1}$ показывает наличие $-\text{C}=\text{C}-$ связей в исследуемом образце. Присутствие симметричных валентных колебаний в области $1122-1003 \text{ см}^{-1}$ связано с $\text{S}=\text{O}$ связями.

Химическое модифицирование сорбента приводит к некоторому изменению ИК-спектра сорбента, что отмечено нами, за счет образования новых связей, в результате введения в состав полимера новых функциональных групп сорбционных центров (рис. 4).

ИК спектр аморфного диоксида титана включает в себя полосы при 556 , $441-456$ и плечо 773 см^{-1} . Особенность спектра по сравнению со спектром кристаллического TiO_2 структуры анатаза или рутила — присутствие полосы 773 см^{-1} , обусловленной симметричными валентными колебаниями связей $\text{Ti}-\text{O}$ тет-

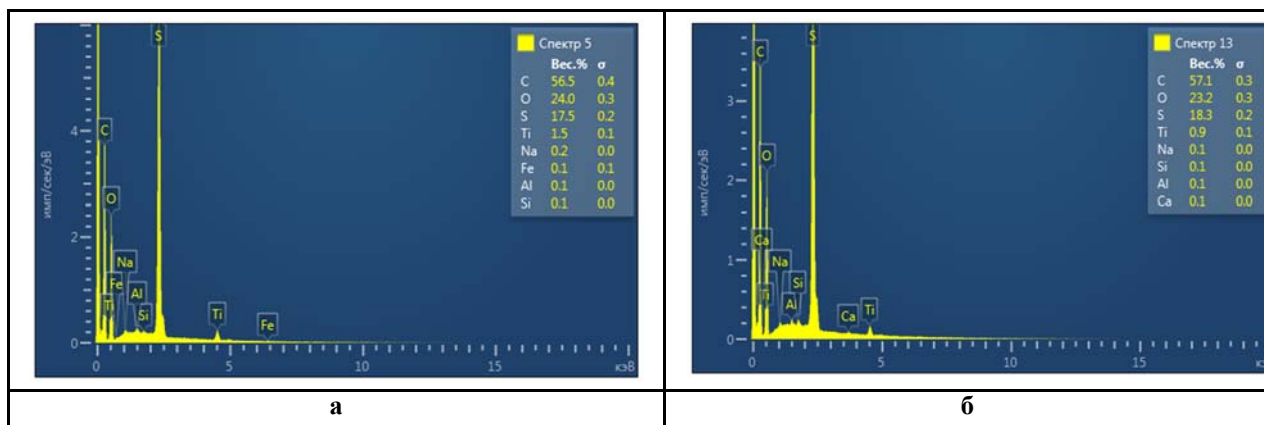


Рисунок 2. Спектры элементного анализа: а – 20% HNO₃ в присутствии 5 грамм TiO₂; б – 20% HCl в присутствии 5 грамм TiO₂.

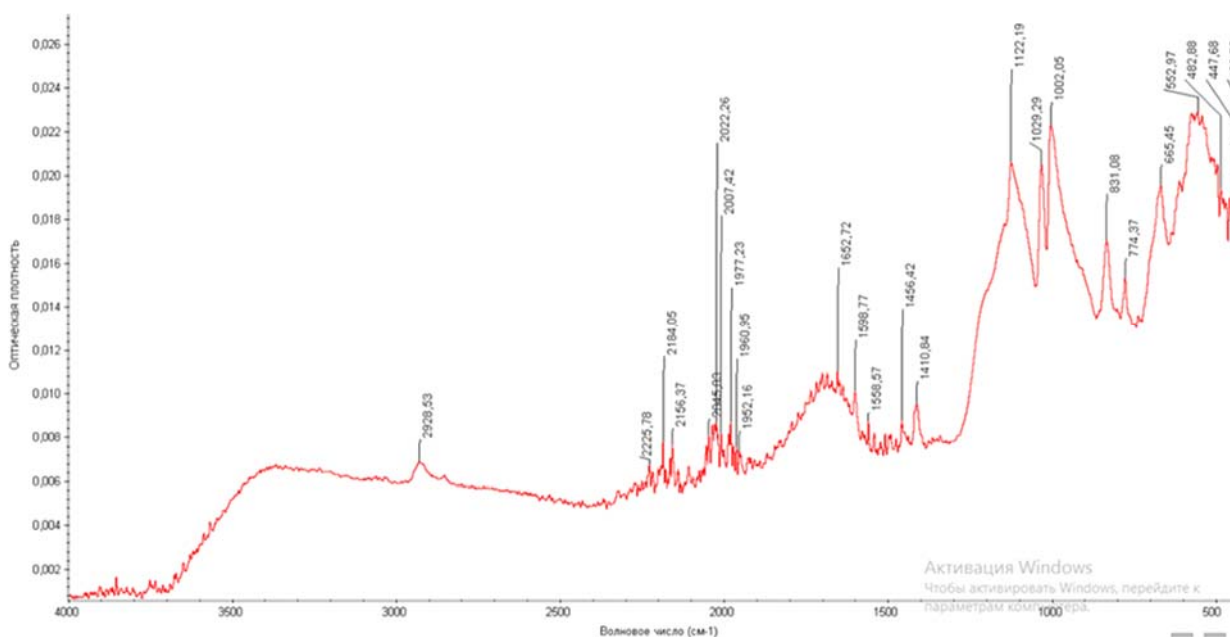


Рисунок 3. ИК спектры чистого катионита КУ-2-8.

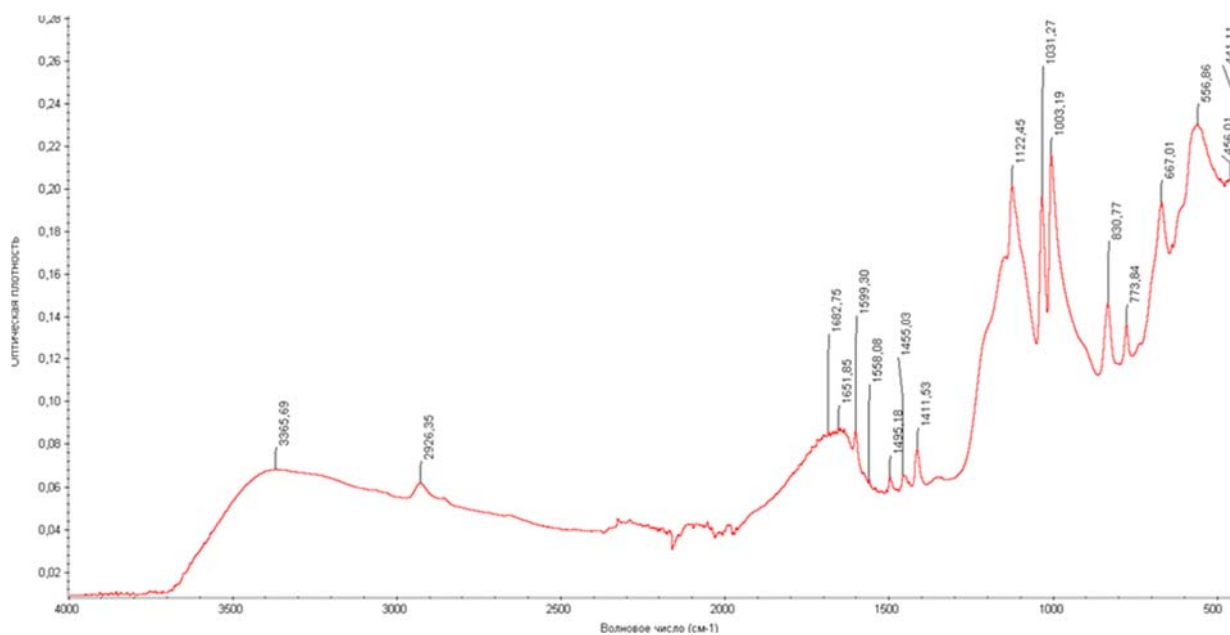


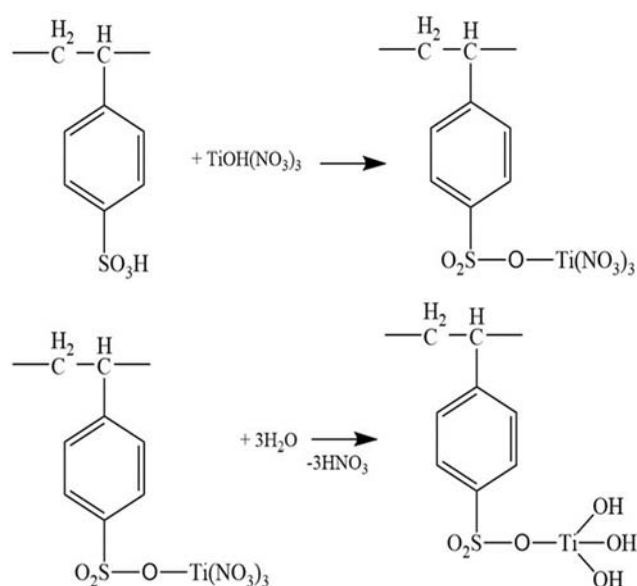
Рисунок 4. ИК спектры модифицированного катионита КУ-2-8.

раэдра TiO_4 [26]. В то же время полоса 556 см^{-1} соответствует колебаниям связи $\text{Ti}-\text{O}$ октаэдра TiO_6 [26]. Обращают на себя внимание полосы с максимумами при 1682 см^{-1} , которые вполне могут служить аналитическими из-за присутствия в структуре TiO_2 [27]. В образце модифицированного сорбента наблюдается смещение 2928 см^{-1} полосы на 3365 см^{-1} . Это может быть связано с появлением карбоксильных групп в составе карбоксиметильных, прививаемых на сорбент в процессе модифицирования [28]. Наблюдаемые изменения связаны с изменением структуры сорбента в результате взаимодействия свободных сульфогрупп, а также, возможно, с модифицирующим агентом – $\text{TiO}_2 \cdot \text{HNO}_3$ и образованием новых функциональных групп – полидентантных сорбционных центров. В ИК спектре модифицированного сорбента наблюдаются изменения в области $2900\text{--}2950\text{ см}^{-1}$, для которой характерны интенсивные валентные колебания атомов H , присоединенных к атомам C , O , N и S [29]. Наблюдаемые изменения в ИК спектрах наглядно свидетельствуют о том, что модификация катионита азотнокислым оксидом титана позволила получить новый сорбент для извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов.

Полученные экспериментальные данные элементного анализа сочетанием ИК спектроскопией позволили нам предположить механизм химических реакций во время модификации сорбента и структуру нового сорбента. Катионит взаимодействует с солями титана (IV) в растворе 20% азотной кислоты образуя побочную продукцию.

Затем гидролизуется при температуре $327\text{--}337\text{ К}$, до избавления от нитратных групп. Водная обработка сопровождается депротонированием нитратных групп и их частичным замещением на ионы гидроксила:

В изученной концентрационной области формируется гидратированная твердая фаза,



состоящая из функциональной группы гидрокси титана ($-\text{Ti}(\text{OH})_3$) [29]. Большое содержание функциональных групп в катионите теоретически обуславливает высокие значения сорбционной емкости.

Заключение

Осуществлена модификация сильноокислотного катионита КУ-2-8 диоксидом титана (IV) методом прямого осаждения при различных концентрациях осадителей – сильных минеральных кислот, таких как HNO_3 , HCl , H_2SO_4 . Определены оптимальные условия модификации ($\text{pH}=5$, 5 г TiO_2 , 20% HNO_3 , время контактирования 2 часа). Приведены ИК спектры и СЭМ фотографии образцов исходного и модифицированного сорбентов, которые свидетельствуют об изменениях в структуре, обусловленных оседанием на поверхности сорбента и с последующим образованием новых функциональных групп. Количество титана, в модифицированном катионите обработанным 20% раствором HNO_3 составило 1,75%.

REFERENCES

1. Skorokhodov V.I., Anikin Yu.V., Radionov B.K. Sorbtionnoye izvlecheniye tsvetnykh metallov iz shakhtnykh vod [Sorption extraction of non-ferrous metals from mine waters]. *Tsvetnyye metally*, 2000, no. 11-12, pp. 71-73.
2. Kiefer R., Kalinitchev A.I., Holl W.H. Column performance of ion exchange resins with aminophosphonate functional groups for elimination of heavy metals. *Reactive and Functional Polymers*, 2007, vol. 67, no. 12, pp. 1421-1432. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2007.07.049
3. Siu P.C.C., Koong L.F., Saleem J. Equilibrium and kinetics of copper ions removal from wastewater by ion exchange. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2016, vol. 24, no. 1, pp. 94-100. DOI: 10.1016/j.cjche.2015.06.017
4. Ntimbani R.N., Simate G.S., Ndlovu S.J. Removal of copper ions from dilute synthetic solution using staple ion exchange fibres: Equilibrium and kinetic studies. *Environ. Chem. Eng.*, 2015, vol. 3, no. 2, pp. 1258-1266. DOI: 10.1016/j.jece.2015.02.010
5. El-Aassar M.R., Hassan H.S., Elkady M.F. et al. Isothermal, kinetic, and thermodynamic studies on copper adsorption on modified styrene acrylonitrile copolymer. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2019, vol. 16, pp. 7037-7048. DOI: 10.1007/s13762-018-02199-x.
6. Lakiza N.V., Neudachina L.K., Vshivkov A.A., Yatluk YU.G. Kinetika sorbtssii ionov medi (II) gibridnymi sorbentami na osnove smeshannykh oksidov kremniya, alyuminiya, tsirkoniya i titana [Kinetics of Sorption of Copper (II) Ions by Hybrid Sorbents Based on Mixed Oxides of Silicon, Aluminum, Zirconium, and Titanium]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2006, vol. 6, no. 6, part 2, pp. 1001-1005.
7. Nesterova E.L., Pimneva L.A. Termokhimicheskoye issledovaniye ionoobmennyykh ravnovesiy na karboksil'nom kationite KB-4P-2 [Thermochemical study of ion-exchange equilibria on carboxyl cation exchanger KB-4P-2]. *Izvestiya vuzov. Neft' i gaz*, 2013, no. 2, pp. 109-113.

8. Neudachina L. K., Petrova YU. S., Zasukhin A. S. i dr. Kinetika sorbtсии ionov tyazhelykh metallov piridiletirovannym aminopropilpolisiloksanom [Sorption kinetics of heavy metal ions by pyridylethylated aminopropylpolysiloxane]. *Analitika i kontrol'*, 2011, vol. 15, no. 1, pp. 87-91.
9. Khodzhakhmedov F.Z. i dr.. Izucheniye kinetiki sorbtсии ionov zolota (III) tverdymi ekstragentami [Study of the sorption kinetics of gold (III) ions by solid extractants]. *Universum: khimiya i biologiya*, 2018, vol. 47, no 5. <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/5786> (accessed 03.11.2019).
10. Turabjanov S.M., Nazirov Z.Sh., Rakhimova L.S. Kinetics and mechanism of sorption of copper (II) ions by ion exchanger. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series chemistry and technology*. 2020, no. 6 (444), pp. 13-21. DOI: 10.32014/2020.2518-1491.93
11. Kasimov Sh.A., Dzhailov A.T., Turayev Kh.Kh. Sintez sorbenta na osnove di-(2-aminoetila)-ditiyofosfata kaliya i epikhlorgidrina [Synthesis of a sorbent based on potassium di-(2-aminoethyl)-dithiophosphate and epichlorohydrin]. *Universum: khimiya i biologiya*, 2017, vol. 39, no. 9. URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/5107> (accessed 09.07.2022)
12. Milyutin V.V., Nekrasova N.A., Rudskikh V.V., Volkova T.S. Sorbtсионная очистка растворов шchelочных metallov ot primesey shchelochnozemel'nykh i tsvetnykh metallov [Sorption purification of alkali metal solutions from impurities of alkaline earth and non-ferrous metals]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2018, vol. 18, no. 3, pp.365-372. DOI: 10.17308/sorpchrom.2018.18/540
13. Myasoedova G.V., Nikashina V.A. Sorbtсионные материалы dlya izvlecheniya radionuklidov iz vodnykh sred [Sorption materials for the extraction of radionuclides from aqueous media]. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal*, vol. 50, no. 5, 2006, pp. 55-63.
14. Losev V.N., Buyko O.V. Sorbtсионно-atomno-emissionnoye opredeleniye tsvetnykh i tyazhelykh metallov s ispol'zovaniyem fitosorbentov [Sorption-atomic-emission determination of non-ferrous and heavy metals]. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, 2010, no. 1, pp. 73-78.
15. Arkhipova A.A., Tsylin G.I., Statkus M.A., Bol'shov M.A., Seregina I.F., Zolotov Y.A. Sorbents with non-covalently immobilized β -diketones for preconcentration of rare earth elements. *TALANTA*, 2016, vol. 161, pp. 497-502.
16. Burba P. Anion exchangers functionalized by chelating agents (AnChel) for preconcentration of trace elements: capabilities and limitations. *Fresenius J. Anal. Chem.*, 1991, vol. 341, pp. 709-715.
17. Bikmukhametova R.R., Sharov A.V. Sintez i svoystva aminirovannykh ugley iz otkhodov obmolota zerna pshenitsy [Synthesis and properties of aminated coals from wheat grain threshing waste]. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, vol. 43, no. 4, pp. 61-63.
18. Ivanenko V.P., Lokshin E.P., Korneykov R.P., Aksenova S.V., Kalinnikov V.T. Zavisimost' ionoobmennyykh svoystv sorbenta na osnove gidrofosfata oksotitana ot sostava [Dependence of the ion-exchange properties of the sorbent based on oxotitanium hydrogen phosphate on the composition]. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2008, vol. 81, no. 5, pp. 726-729.
19. Boyd G.E., Adamson A.V., Mayers L.S. *Khromatograficheskiy metod razdeleniya ionov* [Chromatographic ion separation method]. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoy literatury Publ., 1949. 333 p.
20. Polyanskiy N.G., Gorbunov G.V., Polyanskaya N.L. *Metody issledovaniya ionitov* [Methods for studying ion exchangers]. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 208 p.
21. Krizhanovskaya O.O. Kineticheskiye modeli pri opisaniy sorbtсии zhirorastvorimykh fiziologicheskii aktivnykh veshchestv vysokoporyadochennymi neorganicheskimi kremniysoedyneniymi materialami [Kinetic models for describing the sorption of fat-soluble physiologically active substances by highly ordered inorganic silicon-containing materials]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2014, no. 14, vol. 5, pp 784-789.
22. Valinurova Ye. R., Gimayeva A. R., Miniakhmetova R. R., Kudasheva F. Kh., Fazylova G. F. Sorbtсионная aktivnost' i selektivnost' uglerodnykh materialov k ionam tyazhelykh metallov [Sorption activity and selectivity of carbon materials to heavy metal ions]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2010, vol. 15, no. 2, pp. 307-309.
23. Khoiruddin, Ariono D., Subagjo, Wenten I G. Surface modification of ion-exchange membranes: Methods, characteristics, and performance. *Journal of Applied Polymer Science*, 2017, vol. 134, no. 48, 45540. DOI: 10.1002/app.45540
24. Lyapunova G. N. i dr. Sintez i kompleksobrazuyushchiye svoystva polimernyykh formazanov [Synthesis and complexing properties of polymeric formazans]. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya. Seriya B*, 1997, vol. 39, pp. 1523-1526.
25. Novyy spravochnik khimika i tekhnologa, syr'ye i produkty promyshlennosti organicheskikh i neorganicheskikh veshchestv, chast' II [Raw materials and products of the industry of organic and inorganic substances. Part II]. Spb, ANO NPO «Professional» Publ., 2007. 1142 p.
26. Murashkevich A.N., Lavitskaya A.S., Barannikova T.I., Zharskiy I.M. Infrakrasnyye spektry pogloshcheniya i struktura kompozitov TiO₂—SiO₂ [IR Absorption Spectra and Structure of TiO₂—SiO₂ Composites]. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii*, 2008, vol. 75, no. 5, pp. 724-729.
27. Kostrikin A.V., Kuznetsova R.V., Kosenkova O.V., Merkulova A.N., Lin'ko I.V. IK-spektr gidratirovannogo dioksida titana [IR spectrum of hydrated titanium dioxide]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki*, 2007, vol. 8, no. 2, pp.180-188.
28. Fefelova A.A. i dr. Sintez i izucheniye sorbtсионnykh svoystv gidratirovannogo dioksida titana, interkalirovannogo ionami shchelochnykh metallov [Synthesis and Study of Sorption Properties of Hydrated Titanium Dioxide Intercalated with Alkali Metal Ions]. *Jurnal Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*, 2014, vol. 7, no. 2, pp. 96-99.
29. Gerasimova L.G. Titanofosfatnyye sorbenty dlya ochistki zhidkikh stokov ot radionuklidov, tyazhelykh tsvetnykh metallov [Titanium phosphate sorbents for the treatment of liquid wastewater from radionuclides, heavy non-ferrous metals]. *Tsvetnyye metally*, 2005, no. 3, pp. 87-91.