

STUDY OF SORPTION PROPERTIES OF NATURAL ZEOLITE IN RELATION TO CATIONS Co^{2+} , Ni^{2+} AND V^{4+} FROM AQUEOUS MEDIA BY SATURATION METHOD

G.Sh.Sultanbayeva, R.A.Kaiynbaeva*, R.M.Chernyakova, U.Zh.Dzhusipbekov

JSC "Institute of Chemical Sciences named after A.B. Bekturov", Almaty, Kazakhstan

*E-mail: raushan_1972@mail.ru

Abstract. *Introduction.* The presence of heavy metals in aquatic environments creates environmental problems. Sorption treatment with zeolite from the Shankanai deposit is a promising method for removing heavy metal ions from aqueous solutions due to its high selectivity, cost-effectiveness and environmental sustainability. *The aim of the work* is to study the sorption properties of natural zeolite with respect to Co^{2+} , Ni^{2+} and V^{4+} cations from aqueous media using the saturation method. *Results and discussion.* Studies were carried out using the saturation method on the sorption of individual Co^{2+} , Ni^{2+} and V^{4+} cations by natural zeolite and in two metal-containing systems: " Ni^{2+} – Co^{2+} –NZ– H_2O "; " Ni^{2+} – V^{4+} –NZ– H_2O "; " Co^{2+} – V^{4+} –NZ– H_2O " from an aqueous environment. Increasing the concentration of both cobalt (II) and nickel (II) cations in solutions to 10 mg/L increases the degree of Ni^{2+} sorption by 2.5 times and Co^{2+} by 4.8 times compared to solutions containing 5.0 mg/L. Maxima are recorded on the sorption curves at $C(\text{Ni}/\text{Co}) = 10$ mg/l. The degree of cation sorption in the $\text{Ni}^{2+}/\text{Co}^{2+}/\text{V}^{4+}$ – H_2O systems with the working concentration of the studied cations does not exceed 55% on average. Zeolite in the Ni^{2+} – Co^{2+} –NZ– H_2O system exhibits preferential sorption capacity with respect to Ni^{2+} cations; at $C_{\text{Ni}} = 30$ mg/L it absorbs 0.72 mg/L of $\text{Co}(\text{II})$ cations and 28.3 mg/L of $\text{Ni}(\text{II})$ cations, i.e. $\text{RNi} > \text{RCo}$. In the Ni^{2+} – V^{4+} –PC– H_2O system, the amount of vanadium (IV) absorbed by NZ increases from 18 to 116 mg/L, which is significantly higher than that of sorbed divalent nickel (5 mg/L). This may be a potential evidence of a weak competing effect of Ni^{2+} in the system with an excess of V^{4+} cations. In the Co^{2+} – V^{4+} –NZ– H_2O system, which includes the vanadium (IV) cation, the cation with a constant content is first completely sorbed by NZ, and then it is additionally saturated with the second cation. At $C_{\text{Co}} = (0.5-1.0)$ and 10 mg/L, 97.0 and 95.8% of vanadium, as well as 86.3 and 88.4% of cobalt are simultaneously sorbed. *Conclusion.* In all the studied systems, an unstable nature of sorption is observed, caused by the effect of coordination interaction between different types of cations, due to the sorption $\leftrightarrow$ desorption process occurring in an aqueous solution.

Keywords: natural zeolite, saturation method, sorption, cobalt, nickel and vanadium cations

Gita Shamilyevna Sultanbayeva	Candidate of technical sciences; Associate Professor, Senior Researcher; E-mail: sultanbaeva@mail.ru
Raushan Alibekovna Kaiynbaeva	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher; E-mail: raushan_1972@mail.ru

Citation: Sultanbayeva G.Sh., Kaiynbaeva R.A., Chernyakova R.M., Dzhusipbekov U.Zh. Study Of Sorption Properties Of Natural Zeolite In Relation To Cations Co^{2+} , Ni^{2+} AND V^{4+} FROM Aqueous Media By Saturation Method. *Chem. J. Kaz.*, **2025**, 3(91), 144-154. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-3.2710-1185.43>

Raissa Michailovna Chernyakova	Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher; E-mail: chernyakova1947@mail.ru
Umirzak Zhumasilovich Jussipbekov	Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Chemistry of Fertilizers and Salts; E-mail: jussipbekov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО ЦЕОЛИТА ПО ОТНОШЕНИЮ К КАТИОНАМ Co^{2+} , Ni^{2+} И V^{4+} ИЗ ВОДНЫХ СРЕД МЕТОДОМ НАСЫЩЕНИЯ

Г.Ш.Султанбаева, Р.А.Кайынбаева, Р.М.Чернякова, У.Ж.Джусипбеков

АО «Институт химических наук имени А.Б.Бектурова», Алматы, Казахстан

**E-mail: raushan_1972@mail.ru*

Резюме. Введение. Присутствие тяжелых металлов в водных средах создает экологические проблемы. Сорбционная обработка цеолитом Шанканайского месторождения является перспективным методом удаления ионов тяжелых металлов из водных растворов благодаря своей высокой селективности, экономической эффективности и экологической устойчивости. Целью работы являются изучение сорбционных свойств природного цеолита по отношению к катионам Co^{2+} , Ni^{2+} и V^{4+} из водных сред методом насыщения. Результаты и обсуждение. Проведены исследования с использованием метода насыщения по сорбции индивидуальных катионов Co^{2+} , Ni^{2+} и V^{4+} природным цеолитом и в двух металлсодержащих системах: « Ni^{2+} – Co^{2+} –ПЦ– H_2O »; « Ni^{2+} – V^{4+} –ПЦ– H_2O »; « Co^{2+} – V^{4+} –ПЦ– H_2O » из водной среды. Повышение в растворах концентрации катионов как кобальта (II), так и никеля (II) до 10 мг/л увеличивает степень сорбции Ni^{2+} в 2.5 раза и Co^{2+} в 4.8 раза по сравнению с растворами, содержащими 5.0 мг/л. На кривых сорбции при $C(\text{Ni}/\text{Co}) = 10$ мг/л прописываются максимумы. Степень сорбции катионов в системах « $\text{Ni}^{2+}/\text{Co}^{2+}/\text{V}^{4+} - \text{H}_2\text{O}$ » с рабочей концентрацией исследуемых катионов в среднем не превышает 55 %. Цеолит в системе « Ni^{2+} – Co^{2+} –ПЦ– H_2O » оказывает предпочтительную сорбционную способность по отношению к катионам Ni^{2+} , при $C_{\text{Ni}} = 30$ мг/л поглощает 0.72 мг/л катионов $\text{Co}(\text{II})$ и 28.3 мг/л катионов $\text{Ni}(\text{II})$, то есть $R_{\text{Ni}} > R_{\text{Co}}$. В системе « Ni^{2+} – V^{4+} –ПЦ– H_2O » количество поглощенного ПЦ ванадия (IV) возрастает от 18 до 116 мг/л, что значительно больше по сравнению с сорбированным двухвалентным никелем (5 мг/л). Это может быть потенциальным свидетельством слабого конкурирующего эффекта Ni^{2+} в системе с избытком катионов V^{4+} . В системе « Co^{2+} – V^{4+} –ПЦ– H_2O », включающих катион ванадия (IV), ПЦ в первую очередь полностью сорбируется катион с постоянным содержанием, а затем протекает его донасыщение вторым катионом. При $C_{\text{Co}} = (0.5-1.0)$ и 10 мг/л одновременно сорбируется 97.0 и 95.8 % ванадия, а также 86.3 и 88.4 % кобальта. Заключение. Во всех исследуемых системах наблюдается нестабильный характер сорбции, вызванный воздействием координационного взаимодействия между разными видами катионов, обусловленный процессом сорбция $\leftrightarrow$ десорбция, протекающим в водном растворе.

Ключевые слова: природный цеолит, метода насыщения, сорбция, катионы кобальта, никеля и ванадия.

Султанбаева Гита Шамильевна	Кандидат технических наук, ассоциированный профессор
Кайынбаева Раушан Алибековна	Кандидат технических наук, ассоциированный профессор
Чернякова Раиса Михайловна	Доктор технических наук
Джусипбеков Умирзак Жумасилович	Доктор технических наук

1. Введение

С ростом мировой индустриализации усиливается интенсивность поступления в биосферу тяжелых металлов. Одними из основных источников тяжелых металлов являются жидкие отходы химической, металлургической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей, фармацевтической и других отраслей промышленности [1], [2]. Загрязненные производственные стоки содержат Co, Ni, V, Mn, Cr, Pb и др. канцерогенные металлы, негативно влияющие на здоровье человека [3]. Для извлечения ТМ из промышленных сточных вод широко применяются адсорбционные методы, что обусловлено их экономически выгодным характером. В последние годы используются сорбенты природного происхождения (алюмосиликаты, угли и др.). Уникальная совокупность свойств - устойчивость к действию высоких температур и агрессивных сред, селективность по отношению к крупным катионам щелочных, редкоземельных и тяжелых металлов, высокая поглощающая способность и молекулярно-ситовый эффект - обуславливают широкий диапазон использования природных цеолитов в сорбционных процессах очистки различных сред от тяжелых металлов [7]-[9].

Целью работы являются изучение сорбционных свойств природного цеолита по отношению к катионам Co^{2+} , Ni^{2+} и V^{4+} из водных сред методом насыщения.

2. Методы исследования

При выполнении экспериментов использовали: природный цеолит месторождения Шанканай (Алматинская обл., РК) с содержанием масс. %: 1,38 K_2O ; 0,95 Na_2O ; 0,16 Fe_2O_3 ; 10,81 Al_2O_3 ; 2,32 CaO ; 0,93 MgO ; 65,28 SiO_2 ; 18,5 п.п.п. Основные сорбционные свойства цеолита: COE по катиону – 0,997 мг-экв/г, COE по аниону – 0,4985 мг-экв/г, суммарный объем пор – 0,07 г/см³.

В работе использовали сульфаты двухвалентных металлов: $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $\text{VOSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (марки «ч»).

Методом насыщения проведены исследования по сорбции индивидуальных катионов Co^{2+} , Ni^{2+} и V^{4+} и по катионам в двух металлсодержащих системах: « Ni^{2+} – Co^{2+} –природный цеолит– H_2O »; « Ni^{2+} – V^{4+} –природный цеолит– H_2O »; « Co^{2+} – V^{4+} –природный цеолит– H_2O » из водной среды.

3. Результаты и обсуждение

Полученные результаты, представленные на рисунке 1, показали, что сорбционные кривые для катионов Ni^{2+} и Co^{2+} идентичны друг другу. На начальном участке сорбционных кривых, где концентрация катионов низкая (0,1 мг/л), степень их сорбции высокая и для Ni^{2+} составляет 94,94 %, для

Co^{2+} – 87,50 %, что обусловлено низким их содержанием в растворе и быстрым поглощением природным цеолитом.

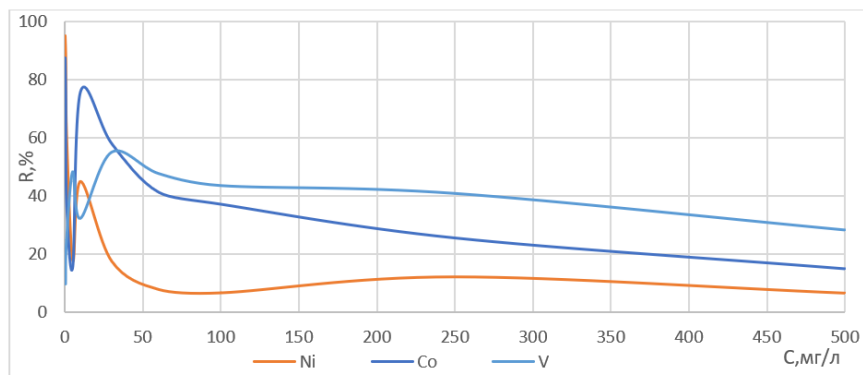
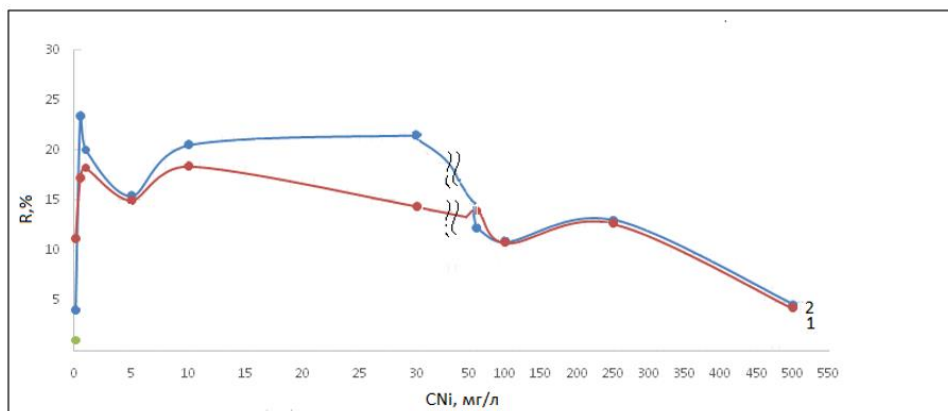


Рисунок 1 – Влияние концентрации катионов металлов на степень их извлечения в двухкомпонентных системах « $\text{Ni}^{2+}/\text{Co}^{2+}/\text{V}^{4+}-\text{H}_2\text{O}$ »

В растворах с содержанием Ni (II) и Co (II) более 10 мг/л, степень их сорбции (R) уменьшается, что отражается в прямолинейной зависимости R от C (Ni/Co) и прослеживается тенденция к снижению кривых сорбции по мере повышения концентрации катионов в растворах (рисунок 1). При C (Ni/Co) = (0.1-5.0) мг/л степень сорбции Ni (II) составляет (94.94 - 17.6) %, а степень сорбции Co (II) достигает (87.5-15.8) %. В области более высоких концентраций исследуемых катионов, в которых C(Ni/Co) возрастает от 10 до 500 мг/л, R (Ni) составляет (44.8 - 6.4) мг/л, в то время как R (Co) находится в области более высоких ее значений (76.0 - 15.0) % (рисунок 1).

Кривая насыщения природного цеолита катионом ванадия (IV) характеризуется низким значением степени сорбции (рисунок 1). При повышении содержания V^{2+} в растворах от 0.5 до 5 мг/л степень его сорбции возрастает в 5 раз. На кривых насыщения V (IV) фиксируется max, располагающийся на 37.67 и 3.0 % ниже аналогичной точки на кривых сорбции соответственно Ni (II) и Co(II). Степень сорбции катионов в системах « $\text{Ni}^{2+}/\text{Co}^{2+}/\text{V}^{4+}-\text{H}_2\text{O}$ » с рабочей концентрацией исследуемых катионов в среднем не превышает 55 %.

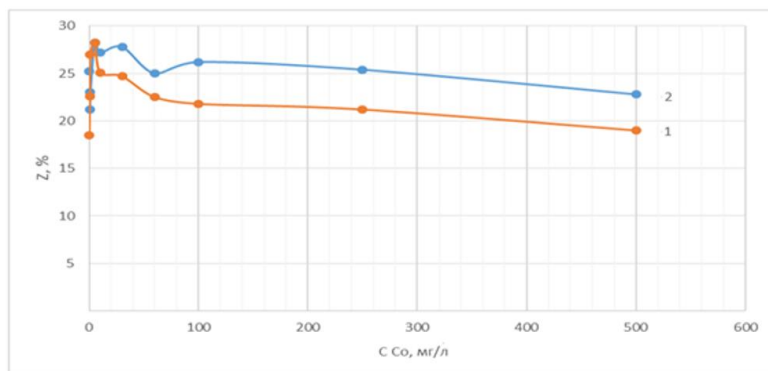
Зависимость степени извлечения сорбируемых катионов природным цеолитом (ПЦ) в системе « $\text{Ni}^{2+}-\text{Co}^{2+}-\text{ПЦ}-\text{H}_2\text{O}$ » при переменной концентрации Ni^{2+} и постоянной концентрации Co^{2+} приведена на рисунке 2. Согласно полученным результатам ПЦ одновременно поглощает оба катиона, а сорбционные кривые в зависимости от концентрации носят волнообразный и близкий друг другу характер.



$C(\text{Co}^{2+})=5\text{мг/л}$; кривые сорбции: 1 – Co (II), 2–Ni (II)

Рисунок 2 – Влияние концентрации никеля (II) на степень извлечения катионов в системе « Ni^{2+} – Co^{2+} –ПЦ– H_2O », $C(\text{Co}^{2+})=\text{const}$.

На кривой сорбции ионов Co^{2+} (рисунок 2, кривая 1) при $C(\text{Ni})$ равной 1.0, 10 и 250 мг/л наблюдаются максимумы, соответствующие степени поглощения 18.2, 18.4 и 13.2 %. В области высоких концентраций Ni (II) от 250 до 500 мг/л степень поглощения сорбируемых катионов уменьшается и, независимо от природы катиона, становится практически одинакова. В количественном отношении цеолит оказывает предпочтительную сорбционную способность по отношению к катионам Ni^{2+} во всем исследуемом интервале их концентраций.



$C(\text{Ni}^{2+})=5\text{ мг/л}$; кривые сорбции: 1 – Co(II), 2 – Ni(II)

Рисунок 3 – Влияние концентрации кобальта (II) на степень извлечения катионов в системе « Ni^{2+} – Co^{2+} –ПЦ– H_2O » при $C(\text{Ni}^{2+})=\text{const}$.

Кривые сорбции катионов Co и Ni в зависимости от концентрации ионов Co^{2+} при постоянном значении концентрации катионов Ni^{2+} (рисунок 3) имеют два менее выраженных макс. Первый максимум наблюдается при C_{Co} равной 5 мг/л и соответствует одинаковой степени сорбции ионов Co^{2+} и Ni^{2+} (28.2 %), а второй макс приходится на $C_{\text{Co}} = 100$ мг/л, но при этом $Z_{\text{Co}} = 24,8$ % и $Z_{\text{Ni}} = 27,2$ %. Причем на рисунке 3 видно, что повышенное содержание кобальта (II) в системе инициирует процесс сорбции ПЦ обоих катионов. Так, степень сорбции катионов Co^{2+} и Ni^{2+} даже при $C_{\text{Ni}} = 500$ мг/л равна соответственно 18.7 и 22.4 % (рисунок 3, кривая 1), а при этой же концентрации Co(II) степень его сорбции составляет 13.2 % и по Ni(II) – 13.6 % (рисунок 3, кривая 2). Результаты показали, что ПЦ в условиях фиксированного значения концентраций катионов Ni^{2+} оказывает незначительную предпочтительную сорбционную способность по отношению к катионам никеля (II), то есть в этом случае также $R_{\text{Ni}} \geq R_{\text{Co}}$.

Из полученных результатов системы « Ni^{2+} – V^{4+} – ПЦ – H_2O » следует, что природный цеолит одновременно сорбирует катионы ванадия (IV) и никеля (II) как видно на рисунках 4 (а, б). Расположение кривых насыщения ПЦ катионами Ni^{2+} и V^{4+} определяется условиями процесса.

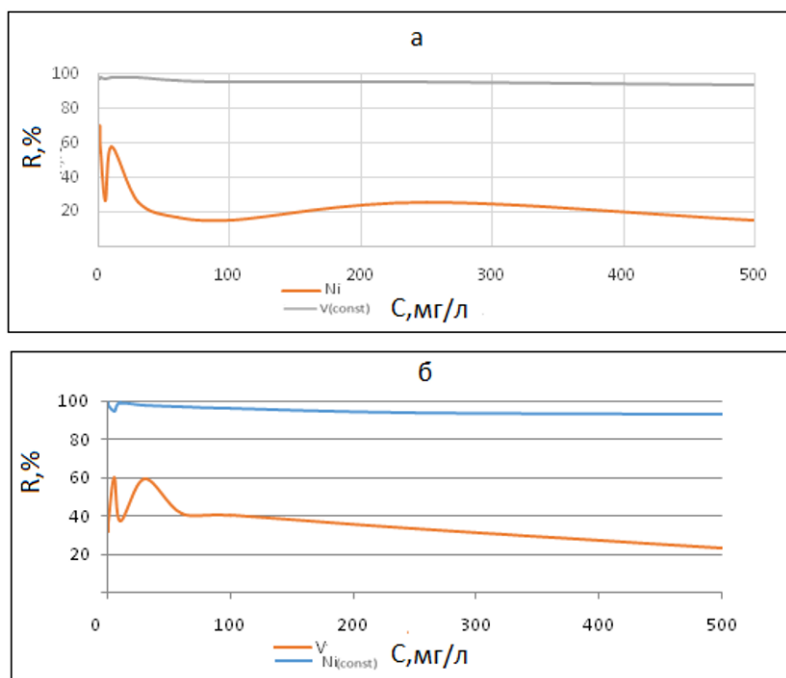


Рисунок 4 – Влияние концентрации никеля (а) и ванадия (б) на степень извлечения катионов в системе « Ni^{2+} – V^{4+} –ПЦ– H_2O ».

При постоянном значении $C(V^{4+})$ и переменной концентрации ионов Ni^{2+} кривая зависимости степени извлечения катионов V^{4+} носит прямолинейный характер и расположена выше кривой зависимости поглощения никеля (рисунок 4 а).

Степень извлечения ванадия (IV) колеблется в пределах от 94 до 98 %. В то время как наибольшая степень сорбции катионов Ni^{2+} (69.8 %) приходится на область его низких концентраций (0.5 мг/л). С повышением в системе содержания катионов Ni^{2+} до 100 мг/л его извлечение снижается до 15%, затем при $C(Ni^{2+}) = 250$ мг/л отмечается увеличение R_{Ni} на 11 %, а начиная с 300 мг/л Ni (II) имеет место тенденция к уменьшению сорбционной способности ПЦ по отношению к катионам Ni^{2+} и R_{Ni} падает до 15.2 %. Однако количество сорбированного ванадия (IV) составляет (4.7-4.9) мг/л, что соответствует практически полному его поглощению из раствора. Проявляется эффект конкурирующего влияния катионов. В низкоконцентрированных никель содержащих растворах сорбция ванадия (IV) ПЦ опережает сорбцию Ni^{2+} , так как V^{4+} сорбируется полностью (5 мг/л), а Ni^{2+} - от такого же содержания частично. В концентрированных по никелю (II) растворах ПЦ поглощает полностью катионы ванадия (5 мг/л) и насыщается еще катионами Ni^{2+} в значительно превышающих количество поглощенного ванадия.

На рисунке 4б приведены кривые насыщения ПЦ катионами Ni^{2+} и V^{4+} в зависимости от концентрации ионов V^{4+} при const значении $C(Ni^{2+})$. В этом случае зависимость степени сорбции катионов уже Ni^{2+} от $C(V^{4+})$ выражается практически прямой линией, расположенной параллельно оси абсцисс и значительно выше сорбционной кривой для ионов V^{4+} . Степень сорбции катионов Ni (II) всегда остается высокой (93–99 %).

На сорбционной кривой катионов V (IV) наблюдаются два равнозначных тах при его концентрации 5 мг/л ($R_V = 59.8$ %) и 30 мг/л ($R_V = 59.3$ %). Начиная с 30 и до 500 мг/л V^{4+} количество поглощенного ПЦ ванадия (IV) возрастает от 18 до 116 мг/л, что значительно больше по сравнению с сорбированным двухвалентным никелем (5 мг/л). Это может быть потенциальным свидетельством слабого конкурирующего эффекта Ni^{2+} в системе с избытком катионов V^{4+} .

Система « $Co^{2+}-V^{4+}$ -ПЦ- H_2O ». На рисунке 5 (а, б) представлены графические зависимости насыщения природного цеолита катионами Co^{2+} и V^{4+} в их совместном присутствии. Расположение и характер сорбционных кривых, полученных в исследуемой системе, близок кривым зависимости поглощения катионов в системе « $Ni^{2+}-V^{4+}$ -ПЦ- H_2O » (рисунки 4 а, б). В условиях const $C(V^{4+})$ и переменной концентрации катионов Co^{2+} степень сорбции ванадия (IV) колеблется в пределах от 93.7 до 98.2 %, а R_V в зависимости от C_{Co} – практически прямая линия, параллельная оси абсцисс (рисунок 5а). Наибольшая степень сорбции катионов Co (II) достигается в

области его низких концентраций (0.5-10 мг/л). При C_{Co} равной (0.5-1.0) мг/л R_{Co} = 86.3 % и при 10 мг/л R_{Co} = 88.4 %.

С повышением концентрации кобальта (II) степень его извлечения снижается, достигая min значения (21,8 %) при 500 мг/л $Co(II)$. В количественном отношении ПЦ сорбирует (4.68-4.86) мг/л катионов ванадия (IV) независимо от концентрации $Co(II)$. Количество поглощенных катионов Co^{2+} с увеличением их концентрации с 0.5 до 500 мг/л в растворе также возрастает с 0.431 до 109 мг/л. В условиях избытка V^{2+} ПЦ оказывает предпочтительную сорбционную способность по отношению к этим катионам.

По мере повышения концентрации ионов Co^{2+} возрастает их конкурирующее влияние на сорбцию ПЦ. При условии $C_V < C_{Co}$ сорбция катионов кобальта (II) ПЦ в 1.8-21.8 раз выше по сравнению с катионами ванадия (IV), т.е. при полном поглощении ванадия природный цеолит в значительных количествах способен сорбировать еще катионы кобальта.

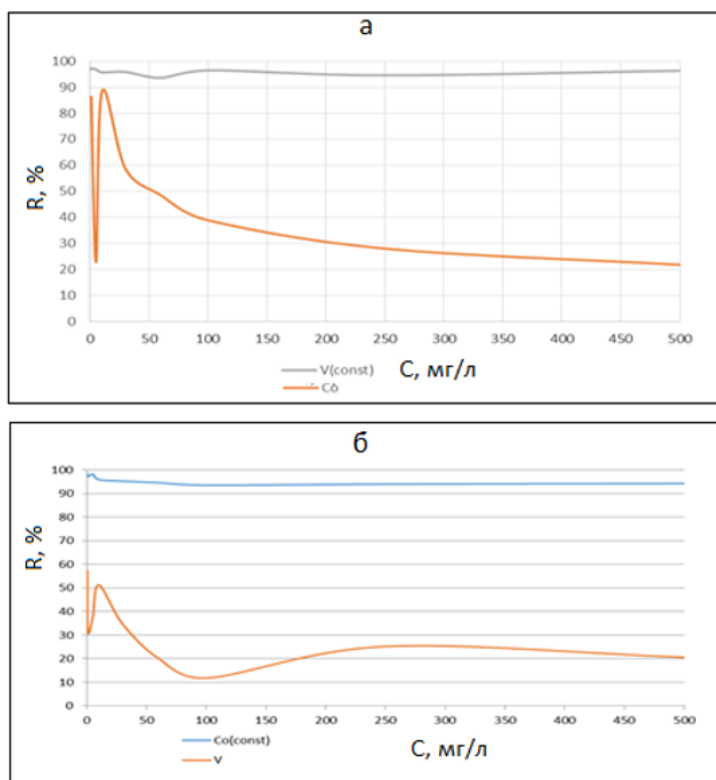


Рисунок 5 – Влияние концентрации кобальта (а) и ванадия (б) на степень извлечения катионов в системе система « $Co^{2+}-V^{4+}$ – ПЦ – H_2O ».

В условиях const концентрации Co^{2+} и переменной концентрации V^{4+} (рисунок 5б) прямолинейную зависимость уже носит кривая степени сорбции кобальта (II) и R_{Co} достигает (93.6-98.3) %.

Увеличение $C(\text{V}^{4+})$ до 250 мг/л сопровождается повышением степени его сорбции до 25.2 %, а при еще более высоких концентрациях отмечается тенденция к снижению сорбционной способности природного цеолита и при 500 мг/л ванадия $R(\text{V}^{4+})$ уменьшается до 20.6 %. В исследуемых условиях катионы Co(II) поглощаются практически полностью в количестве от 4.92 до 4.70 мг/л. Количество сорбировавшегося ванадия с ростом его концентрации также увеличивается от 0.287 до 103 мг/л.

Анализ количественного поглощения сорбируемых катионов показал, что в двухметальных системах, включающих катион ванадия (IV), ПЦ в первую очередь полностью сорбирует катион с постоянным содержанием, а затем протекает его донасыщение вторым катионом. При этом степень сорбции второго катиона с переменным значением концентрации не выше 60-70 %. Исключение в системе « $\text{Co}^{2+}-\text{V}^{4+}$ – ПЦ – H_2O » при const $C(\text{V}^{4+})$, где при $C_{\text{Co}} = (0.5-1.0)$ и 10 мг/л одновременно сорбируется 97.0 и 95.8 % ванадия, а также 86.3 и 88.4 % кобальта. ПЦ практически полностью поглощает катионы V^{4+} и Co^{2+} при их низких концентрациях, так из присутствующих в растворе 5 мг/л V^{4+} и 0.5 мг/л Co^{2+} соответственно сорбируется 4.9 мг/л и 0,49 мг/л, а из 1.0 Co^{2+} и 10 мг/л V^{4+} - соответственно 0.9 мг/л и 8.9 мг/л

4. Выводы

Волнообразный характер сорбции катионов во всех исследуемых системах свидетельствует о нестабильном характере сорбции, вероятно, вызванном воздействием координационного взаимодействия между разными видами катионов. Характер кривых поглощения катионов (наличие тах на кривых) в рассмотренных системах обусловлен процессом сорбция $\leftrightarrow$ десорбция, протекающим в водном растворе.

Финансирование: работа выполнена в АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова» в рамках программы целевого финансирования научных исследований на 2023-2025 годы, реализуемой Комитетом науки МНВО РК, по программе BR 27101179 (ПЦФ 24-26).

Конфликт интересов: конфликт интересов между авторами отсутствует.

ТАБИҒИ ЦЕОЛИТТІҢ Co^{2+} , Ni^{2+} ЖӘНЕ V^{4+} КАТИОНДАРЫНА ҚАТЫСТЫ СУЛЫ ОРТАЛАРДАН ҚАНЫҒУ ӘДІСІ БОЙЫНША СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Сұлтанбаева Г.Ш., Қайыңбаева Р.А., Чернякова Р.М., Жүсіпбеков Ө.Ж.

Ә.Б.Бектұров атындағы химия ғылымдары институты, Алматы, Қазақстан

**E-mail: raushan_1972@mail.ru*

Түйіндеме. *Kipicne.* Су орталарында ауыр металдардың болуы экологиялық мәселелерді тудырады. Шаңқанай кен орнындағы цеолитпен сорбциялық өңдеу оның жоғары селективтілігіне, үнемділігіне және экологиялық тұрақтылығына байланысты сулы ерітінділерден ауыр металл иондарын жоюдың перспективасы әдісі болып табылады. *Жұмыстың мақсаты* қанықтыру әдісін қолдана отырып, сулы ортадан алынған Co^{2+} , Ni^{2+} және V^{4+} катиондарына қатысты табиғи цеолиттің сорбциялық қасиеттерін зерттеу. *Нәтижелер мен пікірталас.* Зерттеулер жеке Co^{2+} , Ni^{2+} және V^{4+} катиондарын табиғи цеолитпен сорбциялау бойынша қанықтыру әдісін қолдану арқылы және құрамында металлы бар екілік жүйелерде: « Ni^{2+} – Co^{2+} –ТЦ– H_2O »; « Ni^{2+} – V^{4+} –ТЦ– H_2O »; Сулы ортадан « Co^{2+} – V^{4+} –ТЦ– H_2O » жүргізілді. Ерітінділердегі кобальт (II), никель (II) катиондарының концентрацияларын 10 мг/л дейін арттыру құрамында 5,0 мг/л бар ерітінділермен салыстырғанда Ni^{2+} сорбция дәрежесін 2,5 есе және Co^{2+} 4,8 есе арттырады. Максимумдар сорбция қысықтарында $C(\text{Ni}/\text{Co}) = 10$ мг/л кезінде анықталды. Зерттелетін катиондардың жұмыс концентрациясы бар $\text{Ni}^{2+}/\text{Co}^{2+}/\text{V}^{4+}$ – H_2O жүйелеріндегі катиондардың сорбциялану дәрежесі орта есеппен 55%-дан аспайды. Ni^{2+} – Co^{2+} –ТЦ– H_2O жүйесінде цеолит Ni^{2+} катиондарына қатысты артық сіңіру қабілетін көрсетеді; $C_{\text{Ni}} = 30$ мг/л кезінде 0,72 мг/л Co (II) катиондарын және 28,3 мг/л Ni (II) катиондарын, яғни $R_{\text{Ni}} > R_{\text{Co}}$ сіңіреді. Ni^{2+} – V^{4+} –ТЦ– H_2O жүйесінде ТЦ сіңіретін ванадий (IV) мөлшері 18-ден 116 мг/л-ге дейін артады, бұл сорбцияланған екі валентті никельден (5 мг/л) айтарлықтай жоғары. Бұл V^{4+} катиондары артық жүйесіндегі Ni^{2+} әлсіз бәсекелес әсерінің ықтимал дәлелі болуы мүмкін. Ванадий (IV) катионын қамтитын Co^{2+} – V^{4+} –ТЦ– H_2O жүйесінде тұрақты құрамы бар катион алдымен ТЦ арқылы толық сорбцияланады, содан кейін екінші катионмен қосымша қанықтырылады. $C_{\text{Co}} = (0,5-1,0)$ және 10 мг/л кезінде бір мезгілде 97,0 және 95,8% ванадий, сонымен қатар 86,3 және 88,4% кобальт сорбцияланады. *Қорытынды.* Барлық зерттелген жүйелерде су ерітіндісінде болатын сорбция ↔ десорбция процесіне байланысты катиондардың әртүрлі типтері арасындағы координациялық әрекеттесу әсерінен туындаған сорбцияның тұрақсыз сипаты байқалады.

Түйін сөздер: табиғи цеолит, қанықтыру әдісі, сорбция, кобальт, никель және ванадий катиондары

Сұлтанбаева Гита Шамилқызы	Техника ғылымдары кандидаты, қауымдастырылған профессор
Қайыңбаева Раушан Әлібекқызы	Техника ғылымдары кандидаты, қауымдастырылған профессор
Чернякова Раиса Михайловна	Техника ғылымдары докторы
Жүсіпбеков Өмірзақ Жұмасылұлы	Техника ғылымдары докторы

Список литературы:

- Осовская, И. И., Васильева, А. П., Бородин, А. М. Дополнительные главы технологии полимерных материалов. Водорастворимые полимеры. Учебное пособие. СПб.: ВШТЭСПБГУПТД, 2022. 63 с. <https://obuchalka.org/20240329161440/dopolnitelnie-glavi-tehnologii-polimernih-materialov-vodorastvorimie-polimeri-uchebnoe-posobie-osovskaya-i-i-vasileva-a-p-borodina-a-m-2022.html>
- Баюров Л. И., Дмитриенко С. Н. Гуар и его использование в питании людей и животных. *Научный журнал КубГАУ*. 2023. № 192 (08). С. 1-18. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=55319535>
- WaheedKhalid,ShamailaYousaf.Elucidating structure–property relationships of guar gum biomolecules: insights from -polynomial and QSPR modeling. *FrontChem*. 2024.Vol.12. Электронный ресурс: www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2024.1410876/full
- Проблемы геологии и освоения недр. Электронный ресурс: earchive.tpu.ru/bitstream/11683/56306/1/...
- Чжан Ф.С., Ван Г.Й., Хуан Х.Й. и др. Характеристики поглощения терагерцового излучения гуаровой камедью, определенные с помощью микрофлюидной технологии. *J. Eur. Opt. Soc.-RapidPubl*. 17, 17 (2021). <https://doi.org/10.1186/s41476-021-00162-x>
- Накамото К. ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений: Пер с англ. М.: Мир, 1991. 536 с. <https://djvu.online/file/xf54imCqciXl0>

7. Кульпина Ю.Н., Прокофьев В.Ю., Гордина Н.Е., Хмылова О.Е., Петухова Н.В., Газахова С.И. Использование ик-спектроскопии для изучения структуры низкомолекулярных цеолитов. - Известия вузов. *Химия и химическая технология*. **2017**. Т. 60, вып. 5. С. 44-49. DOI:10.6060/tcct.2017605.5405.
8. Кузнецова Г.А. Качественный рентгенофазовый анализ. Методические указания, Иркутск: ИГУ, **2005**. 28 с.
https://pd.isu.ru/obsh/method/rentgen/01_kachestven_rentgenophazn_analys.pdf
9. Фекличев В.Г. Диагностические константы минералов. М.: *Недра*, **1989**. 479 с.
<https://search.rsl.ru/ru/record/01001470710>

References:

1. Osovskaya, I. I., Vasilyeva, A. P., Borodina, A. M. Additional chapters of polymeric materials technology. Water-soluble polymers. Study guide. SPb.: VShTESPbGUPTD, 2022. 63 p. <https://obuchalka.org/20240329161440/dopolnitelnie-glavi-tehnologii-polimernih-materialov-vodorastvorimie-polimeri-uchebnoe-posobie-osovskaya-i-i-vasileva-a-p-borodina-a-m-2022.html>
2. Bayurov L. I., Dmitrienko S. N. Guar and its use in human and animal nutrition. *Scientific journal of KubSAU*. **2023**. No. 192 (08). P. 1-18. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=55319535>
3. Waheed Khalid, Shamaila Yousaf. Elucidating structure–property relationships of guar gum biomolecules: insights from -polynomial and QSPR modeling. *Front Chem*. **2024**. Vol.12. Electronic resource: www.frontiersin.org/journals/chemistry/articles/10.3389/fchem.2024.1410876/full (date of access 21.04.25).
4. Problems of Geology and Subsoil Development. Electronic resource: earchive.tpu.ru/bitstream/11683/56306/1/...
5. Zhang FS, Wang GU, Huang HJ, et al. Terahertz Radiation Absorption Characteristics of Guar Gum Determined by Microfluidic Technology. *J. Eur. Opt. Soc.-Rapid Publ*. 17, 17 (**2021**). <https://doi.org/10.1186/s41476-021-00162-x>
6. Nakamoto K. IR and Raman spectra of inorganic and coordination compounds: Transl. from English. Moscow: *Mir*, **1991**. 536 p. <https://djvu.online/file/xf54imCqciXl0>
7. Kulpina Yu.N., Prokofiev V.Yu., Gordina N.E., Khmylova O.E., Petukhova N.V., Gazakhova S.I. Use of IR spectroscopy to study the structure of low-modulus zeolites. - News of universities. *Chemistry and chemical technology*. **2017**. Vol. 60, issue. 5. P. 44-49. DOI: 10.6060/tcct.2017605.5405.
8. Kuznetsova G.A. Qualitative X-ray phase analysis. Methodical instructions, Irkutsk: Irkutsk State University, **2005**. 28 p.
https://pd.isu.ru/obsh/method/rentgen/01_kachestven_rentgenophazn_analys.pdf
9. Feklichev V.G. Diagnostic constants of minerals. Moscow: *Nedra*, **1989**. 479 p.
<https://search.rsl.ru/ru/record/01001470710>