

DOI - 10.32743/UniTech.2021.93.12.12748

**КИНЕТИКА СОРБЦИИ ИОНОВ МЕДИ (II) И НИКЕЛЯ (II) ПОЛИАМФОЛИТОМ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА****Хушвактов Суюн Юсуп угли**

канд. хим. наук.

*Чирчикского государственного педагогического института,  
Республика Узбекистан, г. Чирчик  
E-mail: [suyunkhushvaktov91@gmail.com](mailto:suyunkhushvaktov91@gmail.com)***Жураев Мурод Махмаражаб угли**

канд. хим. наук

*Чирчикского государственного педагогического института,  
Республика Узбекистан, г. Чирчик  
E-mail: [murodjurayevkimyo@gmail.com](mailto:murodjurayevkimyo@gmail.com)***Ботиров Суннатжон Худойберди угли**

стажер-исследователь,

*Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [botirovsunnatjon3004@gmail.com](mailto:botirovsunnatjon3004@gmail.com)***Бекчанов Давронбек Жумазарович**

д-р хим. наук, доцент,

*Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [bekchanov100987@mail.ru](mailto:bekchanov100987@mail.ru)***Мухамедиев Мухтаржан Ганиевич**

д-р хим. наук, проф.,

*Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [mtukhamediev@mail.ru](mailto:mtukhamediev@mail.ru)***KINETICS OF SORPTION OF COPPER (II) AND NICKEL (II) IONS BY POLYAMPHOLITE  
BASED ON POLYVINYL CHLORIDE****Suyun Khushvaktov***PhD in chemical sciences,  
Chirchik State Pedagogical institute  
Uzbekistan, Tashkent***Murod Jurayev***PhD in chemical sciences,  
Chirchik State Pedagogical institute  
Uzbekistan, Tashkent, Chirchik***Sunnatjon Botirov***Trainee-researcher  
National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,  
Uzbekistan, Tashkent***Davronbek Bekchanov***Doctor of chemical sciences  
National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,  
Uzbekistan, Tashkent*

*Mukhtarjon Mukhamediev**Doctor of chemical sciences, professor,  
National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,  
Uzbekistan, Tashkent*

### АННОТАЦИЯ

Изучена кинетика сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  из водных растворов новым полиамфолитом на основе поливинилхлорида, содержащим амино- и сульфогруппы. Полученные результаты проанализированы в рамках кинетических моделей псевдо-первого и псевдо-второго порядков. Найденные кинетические параметры показывают что, изучаемый процесс сорбция ионов металлов лучше описывается кинетической моделью псевдо-второго порядка.

### ABSTRACT

The kinetics of sorption of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$  ions from aqueous solutions by a new polyampholyte based on polyvinyl chloride containing amino and sulfo groups has been studied. The results obtained are analyzed within the framework of kinetic models of pseudo-first and pseudo-second orders. The found kinetic parameters show that the studied process of sorption of metal ions is better described by the kinetic model of the pseudo-second order.

**Ключевые слова:** поливинилхлорид пластикат, полиамфолит, сорбция, ионит, ионы никеля и меди, кинетика, псевдо-первая и псевдо-вторая кинетическая модель.

**Keywords:** PVC compound, polyampholyte, sorption, ion exchanger, nickel and copper ions, kinetics, pseudo-first and pseudo-second kinetic model.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что технологические растворы, образующиеся при извлечении металлов гидрометаллургией, содержат ионы цветных и тяжелых металлов, таких как медь, никель, свинец, ртуть [1]. В сточных водах многих предприятий можно найти почти все различные тяжелые металлы [2]. В частности, увеличение концентрации ионов в таких водах, как  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  пагубно сказывается на окружающей среде [3,4]. Контроль количества ионов тяжелых металлов в сточных водах на многих промышленных предприятиях является одним из актуальных задач экологии [5]. Содержание загрязненных сточных вод анализируется, а затем очищается от различных веществ и ионов. Сброс загрязненных сточных вод в окружающую среду под воздействием высокопроизводительных производственных процессов приводит к различным экологическим проблемам, которые требуют очистки сточных вод от токсичных ионов и ионов тяжелых металлов [6]. Есть несколько способов решить таких аналогичных социальных и экологических проблем, например, при разделении металлов. Традиционные методы, такие как обратимый осмос, электродиализ, биохимическое осаждение при отделении ионов металлов от растворов, требуют больших затрат энергии и приводят к образованию большого количества отходов. В последние годы наиболее широко применяемым методом в гидрометаллургии для отделения ионов металлов в растворах, опреснения воды и очистки сточных вод от токсичных ионов, а также экономически недорогим и эффективным является метод ионного обмена в присутствии ионитов. Ионообменные материалы являются нерастворимыми веществами, которые отделяют ионы от различных искусственных и технологических растворов. Выявлены физико-химические свойства анионита

АБ-17-8, одного из наиболее широко используемых ионитов, при эффективном решении многих проблем, связанных с вторичным загрязнением воды при очистке от солей технологических растворов. Эти типы анионитов были получены на основе стирола и 8%-ом дивинилбензоле [7]. Аминовые реакции ПВХ также проводили японские ученые [8]. В этом исследовании представлены реакции аминирования ПВХ при различных концентрациях этилендиамина (ЭДА). В результате получается ионообменный полимерный материал, содержащий аминогруппы.

Ряд ученых во главе с иранским химиком Ахмедом получили полимер с высокой прочностью (содержание азота от 1% до 9%) поливинилхлоридом под давлением с жидким аммиаком при температуре 100-140K в результате аминовых реакций диоксана или диметилформамида и дихлорэтана в присутствии метанола [9]. Ионообменные материалы с комплексобразующими свойствами, относящиеся к классу полиамфолитов, широко используются для концентрирования технологических растворов цветных металлов. Эти материалы обладают способностью выделять токсичные вещества даже в очень малых концентрациях из воздуха и водных сред с высокими выходами [10]. Комплексобразующие полимеры включают аминосульфо решетчатые сополимеры с высокой сорбционной емкостью и селективностью по отношению к ряду тяжелых и цветных металлов, которые, в свою очередь, связаны с полиидентностью полимерного комплекса, а также с хелатным эффектом при комплексобразовании с амино и сульфо группами [11]. Полиамфолиты являются полимерными веществами, которые одновременно удерживают как анионные, так и катионные группы, имеют определенные сигнальные заряды и могут работать с pH раствора и обменивать катионы и анионы. При благоприятных условиях существуют формы, образующие внутреннюю соль полиамфолита, которые могут четко

идентифицировать как группы стерических полианионов, так и поликатионы. Поскольку осмотическая активность полианионов немного ниже, они менее гидратированы и немного гидрофильны. Иногда их внутренняя солеобразующая форма взаимодействует с ионами, в результате чего образуются слабо нейтрализованные полиэлектролитные комплексы.

В зависимости от наличия различных ионных групп в одном полимерном звене или матрице различают однозвенные и многозвенные полиамфолиты. Полиамфолиты включают любые анионные и катионные центры, а также иониты, расположенные в различных звеньях матрицы [12].

Существует множество теорий для описания ионообменных процессов [13, 14]. На протяжении многих лет при моделировании констант скорости различных реакций ионного обмена уравнение Лагергрена и другие были сосредоточены в основном на изменениях в процессе кинетического анализа [15, 16, 17].

Цель данной работы – изучение влияния различных факторов на кинетику сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  из водных растворов полиамфолитом на основе ПВХ, содержащим амино- и сульфоновые группы в боковой цепи.

#### Материалы и методы исследования

Для исследования сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  из водных растворов на полиамфолит, полученный на основе ПВХ, были приготовлены растворы с концентрациями 0,25; 0,125; 0,1; 0,075; 0,05; 0,025; 0,0125; 0,01 моль·л<sup>-1</sup> ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  из кристаллогидратов  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Продолжительность сорбции ионов металлов из приготовленных растворов изучалась в течении 1, 2, 4, 6, 8, 10 часов. Для этого навески сухого сорбента по 0,3 г, взвешанные на аналитических весах с точностью до третьего знака после запятой, имеющие

статическую обменную емкость 4,5 мг-экв.г<sup>-1</sup> по HCl и 3,5 мг-экв.г<sup>-1</sup> по NaOH помещали в конические колбы объемом 250 мл и заливали 100 мл раствора используемой соли необходимой концентрации. Изменения концентраций ионов металлов в пресорбционных и послесорбционных растворах регистрировали с помощью спектрофотометра (*Mikroplanshet rider Perkin Elmer*) (США) (длина волны для  $\text{Cu}^{2+}$  760 нм, для  $\text{Ni}^{2+}$  720 нм) [18, 19].

Количество иона металла, поглощенного сорбентом, рассчитывали по следующему уравнению:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_p)}{m} \times V$$

При этом:  $q_e$  – количество иона металла, поглощенного полиамфолитом, моль.г<sup>-1</sup>,  $C_0$  – начальные концентрации ионов металлов, моль.л<sup>-1</sup>,  $C_p$  – равновесная концентрация ионов металлов, моль.л<sup>-1</sup>;  $V$  – объем раствора, л;  $m$  – масса сухого сорбента (г) [20, 21, 22]. Полиамфолит был получен по методике, приведённой в работе [23], модификацией поливинилхлорида серой, окислением серосодержащего полимера азотной кислотой для получения сульфогрупп в боковой цепи модифицируемой макромолекулы и дальнейшими химическими превращениями сульфосодержащего полимера под воздействием полиэтиленполиаммина.

#### Полученные результаты их обсуждение

##### Изучение

На рисунке 1 приведена кинетика адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  (1а) и  $\text{Ni}^{2+}$  (1б). Из рис.1 видно, что как и в первом так и во втором случае адсорбция протекает до равновесного состояния.

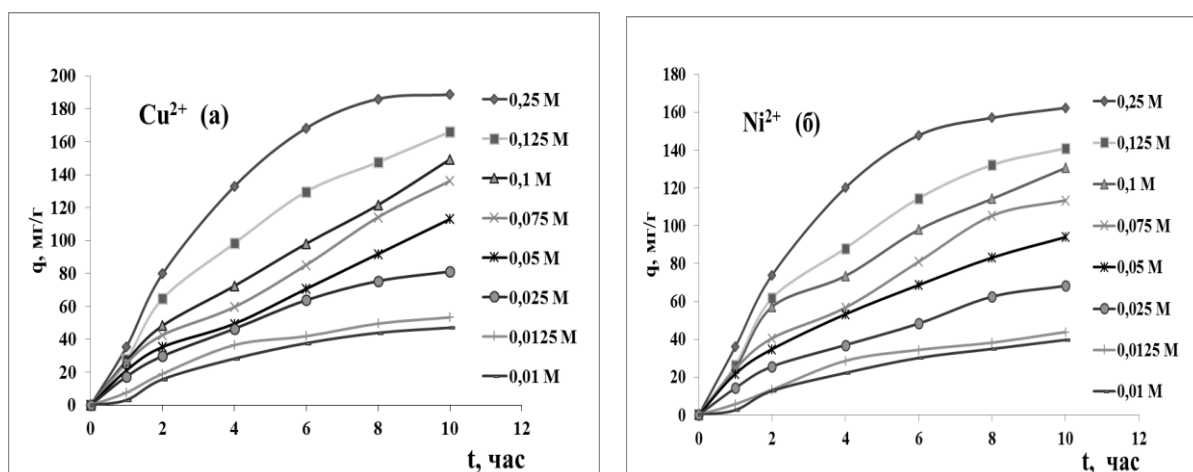


Рисунок 1. Кинетика адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  (1а) и  $\text{Ni}^{2+}$  (1б) на полиамфолите из поливинилхлорида

Известно, что кинетические модели используются для определения механизма процесса сорбции (скорости химической реакции, управления диффузией и массо переноса). В последние годы из различных

кинетических моделей использовались методы псевдопервого, псевдо-второго порядка и другие.

В этом исследовании были использованы следующие кинетические модели:

**Кинетическая модель псевдо-первого порядка**

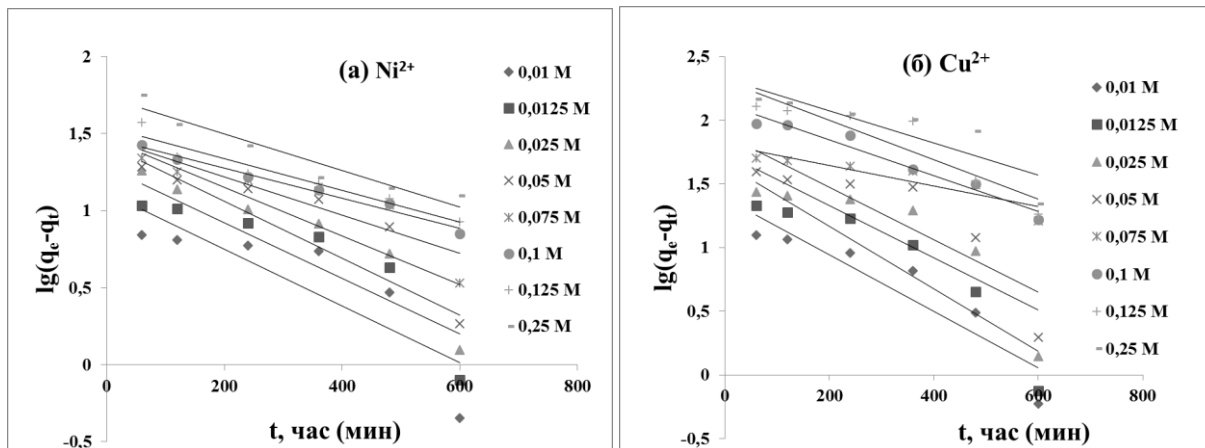
Кинетическая модель псевдо-первого порядка представлена следующим уравнением Лагергрена:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t$$

В этом уравнении:  $q_t$  и  $q_e$  количество ионов металла, сорбированного полиамфолитом в данный момент времени и в состоянии равновесия ( $\text{мг}\cdot\text{г}^{-1}$ ).  $k_1$ - константой скорости процесса сорбции первого

порядка ( $\text{мин}^{-1}$ ), и она находится из значению угла наклона прямой зависимости  $\log(q_e - q_t)$  -, от времени  $t$ , равного  $k_1/2,303$ .

Кинетика процесса сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  на полиамфолите на основе ПВХ, в координатах уравнения псевдопервого порядка, рассчитанная в ходе эксперимента, приведена на рисунке 2. На основании данных приведённых на этом рисунке были рассчитаны кинетических параметры описывающие уравнение псевдо-первого порядка для сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$



**Рисунок 2. Кинетика сорбции ионов  $\text{Ni}^{2+}$  (а) и  $\text{Cu}^{2+}$  (б) полиамфолитом на основе ПВХ в координатах уравнения псевдо-первого порядка**

Кинетика процесса сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  полиамфолитом на основе ПВХ также была оценена путем описания процесса моделью псевдо-второго порядка.

**Кинетическая модель псевдо-второго порядка**

Кинетическая модель псевдо-второго порядка описывается следующим уравнением [24].

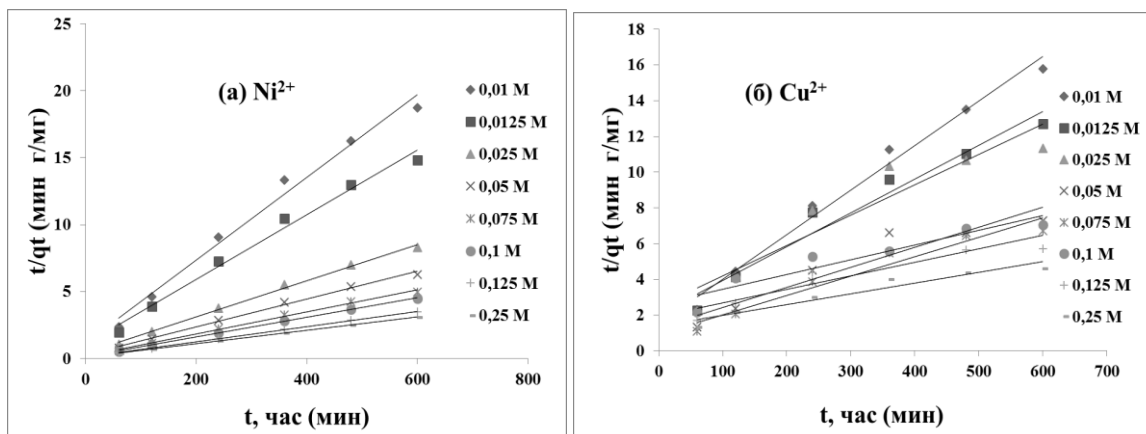
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \left(\frac{1}{q_e}\right)t$$

Начальная скорость сорбции ( $t=0$ ) находится из следующего соотношения:

$$h = k_2 q_e^2$$

При этом:  $k_2$  – константа скорости,  $q_e$  – количество ионов металла, абсорбированных сорбентом данной массы ( $\text{мг}\cdot\text{г}^{-1}$ ),  $t$  - время (минут).

Кинетика процесса сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  полиамфолитом на основе ПВХ в координатах уравнения псевдо-второго порядка приведена на рисунке 3. Кинетические параметры уравнения псевдо-второго порядка описывающего процесс сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  полиамфолитом на основе ПВХ находили из значения отрезка отсекающего от оси ординат прямой зависимости  $t/q_e^{-1}$  от времени  $t$ .



**Рисунок 3. Кинетика сорбции ионов  $\text{Ni}^{2+}$  (а) и  $\text{Cu}^{2+}$  (б) полиамфолитом на основе ПВХ в координатах уравнения псевдо-второго порядка**

Кинетические параметры процесса сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  полиамфолитом на основе ПВХ представлены в виде значений констант скоростей ( $k_1$  и  $k_2$ ) и коэффициентов корреляции ( $R^2$ ) приведены в таблице.

Значения величин коэффициентов корреляции приведённые в таблице для модели псевдо-второго порядка выше, чем для модели псевдо-первого порядка. Следовательно, процесс сорбции ионов полиамфолитом лучше описывается кинетической моделью псевдо-второго порядка. Данный эффект можно объяснить тем, что на кинетику процесса сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  полиамфолитом на основе ПВХ, наряду с концентрацией ионов металлов,

также оказывает влияние концентрация амино и сульфоновых групп, находящихся в боковой цепи макромолекул полиамфолита.

Используя влияния температуры на значения констант скоростей адсорбции, описываемое уравнением Аррениуса [25]:

$$\ln k_2 = \ln A_0 - E_a / RT$$

где  $A_0$  – экспоненциальный фактор,  $E_a$  – энергия активации и  $k_2$  – кинетическая константа псевдо-второго порядка при разных температурах в г. (мг мин) $^{-1}$ , найдена энергия активации процессов (таблица).

Таблица 1.

Кинетические показатели и энергия активации сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  в полиамфолит на основе ПВХ

Сорбент	Металлы	Начальные константы. (моль/л)	Модель псевдо-первого порядка			Модель псевдо-второго порядка				
			Равновесная адсорбция $q_e$ (мг г $^{-1}$ )	$k_1$ (мин $^{-1}$ )	$R^2$	Равновесная адсорбция $q_e$ (мг г $^{-1}$ )	$k_2$ (г мг $^{-1}$ мин $^{-1}$ )	$R^2$	$E_a$ кДж. моль $^{-1}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Полиамфолит	Полиамфолит	$\text{Ni}^{2+}$	0,010	32,45	0,00253	0,705	33,33	0,0007866	0,986	49,52
			0,0125	41,31	0,00241	0,777	41,67	0,0005378	0,987	
			0,025	47,21	0,00233	0,868	76,92	0,0003939	0,996	
			0,050	73,75	0,00233	0,791	100,0	0,0003571	0,994	
			0,075	88,51	0,00233	0,811	125,0	0,0003678	0,996	
			0,100	97,35	0,00233	0,981	142,9	0,0003858	0,999	
			0,125	144,5	0,00193	0,932	178,6	0,0028409	0,999	
			0,250	159,3	0,00163	0,929	200,0	0,0002212	0,999	
Средний $k_1$ и $k_2$ 0,00222 0,0000736										
Полиамфолит	Полиамфолит	$\text{Cu}^{2+}$	0,010	38,59	0,00461	0,843	41,67	0,000377	0,985	54,15
			0,0125	48,00	0,00461	0,838	55,56	0,000158	0,96	
			0,025	54,41	0,0023	0,744	58,82	0,000115	0,884	
			0,050	84,48	0,0023	0,745	90,91	0,000093	0,903	
			0,075	105,6	0,00461	0,822	117,7	0,000029	0,946	
			0,100	121,6	0,00231	0,957	175,4	0,000022	0,888	
			0,125	163,2	0,00231	0,843	212,7	0,000011	0,849	
			0,250	192,0	0,00231	0,749	263,2	0,000007	0,934	
Средний $k_1$ и $k_2$ 0,01354 0,000010										

Энергия активации при сорбции ионов металлов составила для иона никеля 49,52 кДж.моль $^{-1}$  и для иона меди 54,15 кДж.моль $^{-1}$ , следовательно энергия активации процесса сорбции увеличивается со следующей последовательностью  $\text{Ni}^{2+} < \text{Cu}^{2+}$ . Сорбция ионов металлов происходит за счет электростатического эффекта между катионами металлов и  $-\text{SO}_3^-$  на поверхности ионита, а также за счет координационной связи между группами  $>\text{NH}$  в составе ионита. В этом случае также важна способность промежуточных ионов металла образовывать координационную связь с ионообменником. Таким

образом, хотя значения энергии адсорбции показывают большую величину энергетического барьера при сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$ , чем ионов  $\text{Ni}^{2+}$ , величина равновесной адсорбции свидетельствует о том, что ионы  $\text{Cu}^{2+}$  лучше поглощаются ионитом.

Таким образом, проведённые исследования показывают возможность использования полиамфолита на основе поливинилхлорида содержащего как амино-, так и сульфоновые группы в боковой цепи макромолекулы для извлечения ионов металлов из промышленных сточных вод и технологических растворов.

**Список литературы:**

1. Kowanga K.D., Erastus G., Godfrey O.M., Eliakim M.M. Kinetic, sorption isotherms, pseudo-first-order model and pseudo-second-order model studies of Cu(II) and Pb(II) using defatted *Moringa oleifera* seed powder. *The Journal of Phytopharmacology*. 2016; 5(2): 71-78.
2. Krim L., Nacer S. and Bilango G. Kinetics of chromium sorption on biomass fungi from aqueous solution. *Am. J. Environ. Sci.*, 2006. 2: 27-32.
3. Yisa J. Heavy metals contamination of road deposited sediments. *Am. J. Applied Sci.*, 2010. 7: 1231-1236.
4. Ong M.C. and Kamruzzaman B.Y. An assessment of metals (Pb and Cu) contamination in bottom sediment from South China Sea coastal waters, Malaysia. *Am. J. Applied Sci.*, 2009. 6: 1418-1423.
5. Золотов Ю.А., Цизин Г.И., Дмитриенко С.Г., Моросанова Е.И. Сорбционное концентрирование микрокомпонентов из растворов. Применение в неорганическом анализе. – М.: Наука, 2010. 564 с.
6. Raghav S., Kumar D., Adsorption equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies of fluoride adsorbed by tetrametallic oxide adsorbent, *J. Chem. Eng. Data* 63 (2018) 1682–1697.
7. Slavinskaya G.V., Kurenkova O.V. Water supply, sewerage, building construction of water resources protection influence of filter materials on water quality Voronezh State Technical University Issue № 4 (36), 2017 ISSN 2542-0526.
8. Eun Ji Park., Byoung Chul Park., Young Joong Kim., Ali Canlier., Taek Sung Hwang. Elimination and Substitution Compete During Amination of poly (vinyl chloride) with Ehtylenediamine: XPS Analysis and Approach of Active Site Index Article in *Macromolecular Research*. June 2018. DOI: 10.1007/s13233-018-6123-z.
9. Ahmed I.S., Ghonaim A.K., Abdel Hakim A.A., Moustafa M.M., Kamal El-Din A.H. Synthesis and characterization of some polymers for removing of some heavy metal ions of industrial wastewater // *J Appl Sci Res*. 2008; 4: pp. 1946-1958.
10. Лейкин Ю.А., Мясоедов Б.Ф., Лосев В.В., Кириллов Е.А. Модифицированные сорбенты для селективного извлечения аммиака и его производных. // *Хим. Физика*. 2007. Т. 26. № 10. С. 18–33.
11. Brown C.-J., Sheedy, M.: *A new ion exchange process for softening high TDS produced water*, SPE/Petroleum Society of CIM/СНОА, Technical Paper No 78941, Eco-Tec Inc., 2002.
12. Лейкин Ю.А. Исследование в области химии комплексообразующих фосфорсодержащих полимеров трехмерной структуры: Дис. д-ра хим. наук. М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 2009. 440 с.
13. Keno David Kowanga., Erastus Gatebe., Godfrey Omare Mauti, Eliakim Mbaka Mauti Kinetic, sorption isotherms, pseudo-first-order model and pseudo-second-order model studies of Cu(II) and Pb(II) using defatted *Moringa oleifera* seed powder *The Journal of Phytopharmacology* 2016; 5(2): 71-78.
14. Нецкина О.В. Адсорбция из растворов на твёрдой поверхности Новосибирск 2015;3-15.
15. Foo K.Y., Nameed B.H.: Insights into the modeling of adsorption isotherm systems, *Chemical Engineering Journal*, 2010, 156(1), 2-10.
16. Juraev M., Khushvaktov S., Botirov S., Bekchanov D., Mukhamediev M. Kinetics of Sorption of Ca (II) And Mg (II) Ions from Solutions To a New Sulphocathionite. *International Journal of Advanced Science and Technology* Vol. 29, No. 7, (2020), (iyun) pp. 3395-3401 / <https://serisc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/21894>.
17. Rengaraj S., Yeon J.W., Kim Y., Yongju, J: Adsorption characteristics of Cu(II) onto ion exchange resins 252H and 1500H: Kinetics, isotherms and error analysis, *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 143(1–2), 469-477;
18. Rengaraj S., Yeon J.W., Kim Y., Yongju J. Adsorption characteristics of Cu(II) onto ion exchange resins 252H and 1500H: Kinetics, isotherms and error analysis, *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 143(1–2), 469-477.
19. Хушвактов С.Ю., Жураев М.М., Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г. Сорбция ионов меди (II) и никеля (II) на азот и серосодержащем полиамфолите. // *UNIVERSUM: Химия и биология*. (2019) № 11 (65).
20. Bogdan Bandrabur, Ramona-Elena Tataru-Fărnuș, Liliana Lazăr, Laura Bulgariu, Gheorghe Gutt. Use of strong acid resin Purolite C100E For removing permanent hardness of water – factors affecting cationic exchange capacity *Scientific Study & Research*. 2012, 13 (3), pp 295 – 304.
21. Bekchanov D.J., Mukhamediev M.G., Sagdiev N.J. «Study sorption of heavy metals nitrogen – and- phosphorus containing polyampholytes» “ *American Journal of Polymer Science*” USA, 2016 , № 6. (2). pp 46-49.
22. D. Bekchanov, H. Kawakita, M. Mukhamediev, S. Khushvaktov, M. Juraev. Sorption of Cobalt (II) and Chromium (III) Ions to Nitrogen- and Sulfur-Containing Polyampholyte on the Basis of Polyvinylchloride. *Polymers for Advanced Technologies*. 2021. Vol. 32 (1). pp. 457-470. <https://doi.org/10.1002/pat.5209>
23. Хушвактов С.Ю., Жураев М.М., Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г. Поливинилхлорид асосидаги азот ва олтингургут тугган поликомплексонга оралик металл ионларининг сорбцияси. *O'zbekiston kimyo jurnali*, 2020, №4, 36-45 б. (02.00.00., №6).
24. Mittal A., Teotia M., Soni R.K., Mittal J. Applications of egg shell and egg shell membrane as adsorbents: a review, *J. Mol. Liq.* 223 (2016) 376–387.