

**Azizbek KO'CHAROV,**  
 Kichik ilmiy xodim, O'zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti  
 E-mail: azizbek.kucharov94@mail.ru  
 Tel: +998901247202

**Farxod YUSUPOV,**  
 O'zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti  
 Texnika fanlar doktori, professor,

**Dilfuza NURIDDINOVA,**  
 O'zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti  
 Erkin tadqiqotchi,

**Ra'no TOSHBEOEVA,**  
 O'qituvchi, Farmatsevtika ta'lim va tadqiqot instituti

O'zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti doktoranti S. Q. Yusupov taqrizi asosida

## RESULTS OF SCIENTIFIC RESEARCH OF ADSORPTION KINETICS AND ADSORPTION ISOTHERMS IN THE PRODUCED IONITE

Annotation

In this research work, first of all, brief information about adsorption isotherms in distilled water is given. Data on the results of correlation coefficients of Langmuir and Freundlich adsorption isotherms for  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions are presented. The effect of temperature change on the course of the modification reaction with sulfuric acid was also studied in the research work, and information was given on the rate of adsorption of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions in pure water and how long it takes for the adsorption processes to reach equilibrium.

**Key words:** Water hardness, sulfonation, PVC, cation, adsorbent, technical water, metal ions, polymer substances.

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КИНЕТИКИ И ИЗОТЕРМ АДСОРБЦИИ В ПОЛУЧЕННОМ ИОНИТЕ

Аннотация

В данной исследовательской работе, прежде всего, даются краткие сведения об изотермах адсорбции в дистиллированной воде. Представлены данные по результатам определения коэффициентов корреляции изотерм адсорбции Ленгмюра и Фрейндлиха для ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . В исследовательской работе также было изучено влияние изменения температуры на ход реакции модификации серной кислотой и даны сведения о скорости адсорбции ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в чистой воде и о времени, в течение которого протекают процессы адсорбции. достигают равновесия.

**Ключевые слова:** Жесткость воды, сульфокатирование, ПВХ, катион, адсорбент, техническая вода, ионы металлов, полимерные вещества.

## ISHLAB CHIQLILGAN IONITDAGI ADSORBSIYA KINETIKASI VA ADSORBSION IZOTERMALARNING ILMIY TADQIQI NATIJALARI

Аннотация

Ushbu tadqiqot ishida birinchi navbatda distirlangan suvdagi adsorbsion izotermalar to'g'risida qisqacha ma'lumotlar keltirilgan.  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun Lengmuir va Freyndlix adsorbsion izotermalarining korrelyatsiya koeffitsientlari natijalari to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan. Tadqiqod ishida haroratning o'zgarishi sulfat kislotasi bilan modifikatsiya reaksiyasining borishiga ta'siri ham o'rganilib,  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlarining toza suvda adsorbsiya tezligi juda yuqori va adsorbsiya jarayonlari qancha vaqtdan keyin muvozanatga kelishi to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan.

**Kalit so'zlar:** Suvning qattiqligi, sulfokationit, PVX, kationit, adsorbent, texnik suv, metal ionlari, polimer moddalar.

**Kirish.** Suvdan oqilona foydalanish atrof-muhitni muhofaza qilish sohasidagi ustuvor yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Suvga bo'lgan talabning tez o'sib borishi va suvning cheklanganligi shuningdek, suvni tozalash jarayonlari narxining oshishi suvni tozalash uchun yangi texnologiyalarni yaratish zaruratiga olib keladi. Sanoat oqava suvlarini tarkibidagi Mg va Ca ionlari suvning umumiy qattiqligini ko'rsatuvchi faktorlardan bo'lib, uning qayta ishlatish imkoniyatlarini belgilaydi. Shu sababli sanoat oqava suvlarini umumiy qattiqligini tushirish uchun maxalliy xomashyolar asosida kationitlar sintez qilish dolzarb muammo hisoblanadi.

**Mavzuga oid adabiyotlar tahlili.** Hozirgi kunda stiroil va divinilbenzol, polivinilxlorid, fenolformaldegid kabi polimer yoki sopolimerlarning sulfolanigan birikmalari keng tarqaldi va qo'llanilmoqda. Kislotasi yoki asoslik darajasi bilan bir biridan farq qiladigan juda ko'plab ionitlar ma'lum. Sulfat kislotasi, oleum va xlorosulfokislotasi sulfolanigan hosil qilgani uchun bunday jarayonlarda qo'llanila olmaydi. Boshqa tomondan sulfat angidridning dioksan [1], trioksan [2] yoki 3-dixloridietiloksid bilan aralashmasi sulfo kationitlarni hosil qilmaydi va suvda eruvchan birikmalar hosil qiladi [3]. Bu sulfolanish xona haroratida yoki undan pastroq haroratda kompleksni polistiroil bilan aralashtirish orqali amalga oshiriladi, sulfolanigan polimer eritmadan ajralib qoladi [4].

Sulfolanish darajasini o'zgartirib 70 % dan to nazariy hisoblangan unumgacha har bir benzol halqasiga bittadan sulfoguruh biriktirilgan sulfokislotasi olindi. Past sulfolanish darajasida (10-20 %) suvda eruvchan birikmalar hosil bo'lishi va eritmadagi suvni bug'latib yuborgandan keyin ushbu birikmalardan suvda erimaydigan plyonkalar hosil bo'lishi alohida qiziqish uyg'otadi [5]. Izog'ovakli makroto'rtli stiroil polimerining sulfolanishi nisbatan oson kechadi. Sulfat kislotasi bilan sulfolanishda 80 °C haroratdayoq aromatik halqalarning almashinishiga olib keladi. 100 °C da hatto o'zaro bog'lanish darajasi 40-100 % bo'lgan

polimerlar ham almashinish sig'imi 4,5-4,7 mg-ekv/g bo'lgan sulfokationitlarga aylanadi [6]. Sulfolanishning oson borishi barcha aromatik halqalarning izog'ovakli makroto'rli polistirolida joylashganligidan dalolat beradi. Polimerga kiritilgan barcha sulfoguruhlar o'z protonini tetrabutylammoniy ionini kabi katta hajmli guruhga almashtirishga qodir ekanligi ham xuddi shunday dalolat beradi. Taqqoslash uchun shuni ta'kidlash kerakki, odatiy kationitlar 10 % DVB saqlaganda sulfoguruhlarining yarimi o'z protonini tetrabutylammoniyga almashtira olmaydi. Ushbu reaksiyalarni amalga oshirish uchun PVX kukuni yoki PVX ning dixloroetandagi eritmasi ishlatiladi [7].

Sanoatning turli sohalarida qo'llanuvchi sorbentlar qator talablarga javob berishi kerak, xususan turli metallarga nisbatan yuqori sorbsion sig'imiga ega bo'lishi, suvda erimasligi, kimyoviy barqaror bo'lishi, haroratning o'zgarishiga barqaror bo'lishi va arzon bo'lishi bilan birgalikda ko'p marta qayta ishlatish xususiyatiga, suvni tozalash jarayonida texnologik, ekologik va iqtisodiy talablarga mos kelishi kerak. Shuning uchun agressiv fizik-kimyoviy ta'sirlarga barqaror bo'lgan, yangi ion almashinuvchi ionitlar sintez qilish dolzarb masalalaridan biridir [8]. Shuning uchun olingan ionitning tarkibi va tuzilishi zamonaviy usullar yordamida o'rganildi. Sanoatda qo'llanuvchi ionitlarga turli xil talablar qo'yiladi shu talablardan eng asosiylaridan biri bu termik va kimyoviy barqarorlik hisoblanadi [9].

**Material va metodlar.** Olingan KP-1 sulfokationitining sorbsion xossalari aniqlash uchun  $\text{CaCl}_2$  va  $\text{MgCl}_2$  eritmalaridan metall ionlarining sorbsiyasi statik usulda o'rganildi. Ushbu tajribalar 0,025 dan 0,1 mol/l gacha bo'lgan konsentratyali kalsiy va magniy xloridning sun'iy eritmalarida 24 soat davomida o'tkazildi. 250 ml konussimon kolbaga 0,3 g quruq sorbent solindi va 100 ml turli konsentratyadagi  $\text{CaCl}_2$  yoki  $\text{MgCl}_2$  eritmasidan qo'shildi [10].

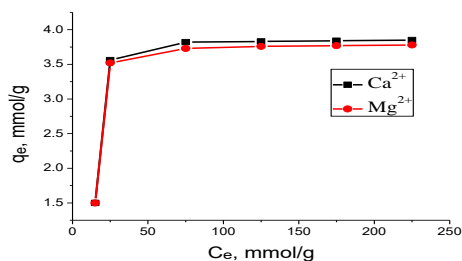
Solishtirma sorbsiya ( $\Delta X/m$ ) quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\frac{\Delta X}{m} = \frac{(C_0 - C_\tau) \cdot V}{M \cdot m}$$

Bu yerda:  $\Delta X$  – sorbsiyalangan ionlar miqdori; mol,  $m$  – sorbentning massasi, g;  $C_0$  va  $C_\tau$  – sorbsiyadan oldin va keyingi eritmalaridagi ionlarning konsentratyasi, g/l;  $V$  – eritma hajmi, l;  $M$  – ionlarning molekulyar massasi, g/mol.

Dastlabki va toza eritmadagi metall ionlari miqdori titrlash usuli bilan aniqlandi. Indikator sifatida erioxrom qora ishlatildi. EDTA bilan titrlashda rang o'zgarishi yaqqol seziladi.

**Natijalar va ularning tahlili.** Distirlangan suvdagi adsorbsion izotermalar (1 rasm) 15-300 mmol/L konsentratya oralig'ida kuchli kislotali kationik KP-1da  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlarining adsorbsiyalanish xususiyatlarini aniqlashi mumkin. Ko'rinib turibdiki,  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun kuchli kislotali kation KP-1 ning adsorbsion qobiliyati 15 mmol/g dan 75 mmol/g konsentratyagacha keskin oshdi, shundan so'ng bu tendentsiya taxminan 3-4 mmol/g da barqaror bo'lib qoldi. Natijalarda maksimal adsorbsion qobiliyat  $\text{Ca}^{2+}$  ionlari uchun 3,78 mmol/g va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun 3,74 mmol/g ekanligi ko'rsatilgan. Metall ionlarining adsorbsion konsentratyasining farqi shundaki,  $\text{Ca}^{2+}$  ionlari  $\text{Mg}^{2+}$  ionlariga qaraganda ion radiusi yuqoriroq, shuning uchun  $\text{Ca}^{2+}$  ionlari  $\text{Mg}^{2+}$  ionlariga qaraganda gidratlanish energiyasi yuqoriligi tufayli kationitga yutilish qobiliyati ham yuqori bo'ladi. Ushbu natijalardan  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun katta adsorbsiya qobiliyatiga ega ekanligi ko'rsatilgan.

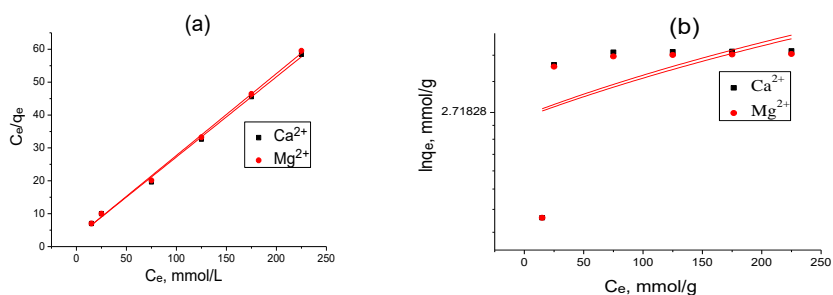


1-rasm.  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlarining distirlangan suvda,  $q_e$  kationitda,  $C_e$  metall ionlarining konsentratyalarida adsorbsiya izotermalari.

1-rasmda ko'rsatilganidek, harorat ortishi bilan ionitga yutilgan kalsiy(II) va magniy(II) ionlarining miqdori oshib borgan. Chunki harorat ortishi, kationit va musbat metall ionlari o'rtasida ionlar harakati tezlashishi hisobiga ion almashish jarayoni yaxshilanadi. Muvozanat jarayonlarini tahlil qilish uchun adsorbsiya izotermalari eng muhim vosita hisoblanadi. Suvuq va qattiq sistemalarda muvozanat jarayonlarini ifodalash uchun eng keng qo'llanilgan va qulay bo'lganlari Lengmyur va Freyndlix modellaridir. Freyndlix izoterma tenglamasi yordamida turli – (ideal bo'lmagan) eritmalarida boradigan sorbsiya jarayonlarini o'rganish mumkin.

Toza suvdagi  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun Lengmuir va Freyndlix adsorbsion izotermalarning korrelyatsiya koeffitsientlari topilgan va 1-jadvalda keltirilgan. Bu natijalardan ajralib turadigan narsa shundaki, korrelyatsiya koeffitsientlari  $\text{Ca}^{2+}$  ionlari uchun 0,997 va Lengmyur bo'yicha  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun 0,998 ga teng.

Lengmyur izotermasi  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlarining kuchli kislotali kationli KP-1 ga distillangan suvdagi adsorbsiyasi uchun Freyndlix izotermalari bo'yicha  $\text{Ca}^{2+}$  va 0,674  $\text{Mg}^{2+}$  uchun 0,621 ga teng bo'lgan korrelyatsiya koeffitsientlaridan ko'ra eng mos ekanligini tasdiqlovchi izotermalar. Yana bir qiziq jihat shundaki, Risenning tanlangan maksimal adsorbsion qobiliyati  $\text{Ca}^{2+}$  ionlari uchun 3,78 mmol/g va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun 3,74 mmol/g ni tashkil etdi.



2-rasm. Distrlangan suvda  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun (a) Lengmyur va (b) Freyndlix adsorbsion izotermalari, 5 g quruq modda, 50 ~ 300 mmol/l metall ionlarining dastlabki konsentratsiyalari.

1-jadval

PVX asosidagi sulfokationitga  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari sorbsiyasida Lengmyur va Freyndlix konstanta qiymatlari.

Metal ionlari	Lengmyur izotermalari			Freyndlix izotermalari		
	b, g/mmol	$q_m$ , mmol/g	$R^2$	$k_f$ , mmol/L	N	$R^2$
$\text{Ca}^{2+}$	0.14	3.78	0.997	0.78	5.94	0.621
$\text{Mg}^{2+}$	0.18	3.74	0.998	0.81	6.52	0.674

Frendlix parametrlari qiymatlariga ko'ra mos ravishda  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari  $n=5,94$  va  $6,52$  ga teng bu esa sulfokationitga metal ionlarining Sorbsiyasi yuqori darajada borganligidan dalolat beradi. Korrelatsion koeffitsientlari  $R^2$  qiymatlari  $\text{Ca}^{2+}$  uchun 0,621 va  $\text{Mg}^{2+}$  uchun 0,674 ga teng va konsentratsiya o'zgarishi adsorbsiya jarayoni Lengmyur monomolekulyar adsorbsiyasiga nazariyasiga bo'ysunishini ko'rsatadi.

Sorbsiya jarayonining mexanizmini (masalan kimyoviy Reaksiya tezligi, diffuziyani boshqarish va massa uzatilishini) aniqlashda kinetik modellardan foydalaniladi. So'nggi yillarda turli xil kinetik modellar psevd birinchi tartibli, psevd ikkinchi tartibli va boshqa bir qancha usullardan foydalanilmoqdi.

100 ml sintetik eritma va sanoat oqova suvlarini turli vaqt oralig'ida (0 ~ 120 min) quritilgan kuchli kislotali kationiti KP-1 bilan davriy adsorbsiyaning kinetikasi o'tkazildi. Adsorbsiyadan oldin va keyin eritmalardagi  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlarining miqdori atom-adsorbsion spektrofotometr (AAS-990) yordamida hisoblangan. Sintetik eritmalarni tayyorlash uchun  $\text{CaCl}_2$  va  $\text{MgCl}_2$  tuzlari ishlatilgan. "Muborak GQIZ" MChJ sanoat chiqindi suvlari sinov uchun olingan.

Kuzatilgan adsorbsion kinetika ma'lumotlari psevd birinchi tartibli va ikkinchi tartibli modellar yordamida hisoblab chiqilgan:

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (2)$$

$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad (3)$$

Bu erda  $q_e$  – kationitning adsorbsion qobiliyati (mmol/g),  $q_t$  - t vaqt ichidagi metall ionlarining adsorbsiyalangan miqdori,  $k_1$  va  $k_2$  – psevd birinchi (min-1) va psevd ikkinchi (g•mmol/min) tartibli tezlik konstantasi.

Metall ionlarining kationitli sorbentida adsorbsiyalanish samaradorligini tavsiflovchi navbatdagi muhim ko'rsatkich adsorbsiya kinetikasidir. Tanlangan kuchli kislotali kationit SK-PVXning adsorbsion sig'imida metall ionlarining adsorbsiyalanish jarayonini o'rganish maqsadida toza suvda va sanoat oqova suvlarining eritmalarida  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlarining adsorbsiyalanish kinetikasi o'rganildi.  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun kuzatilgan natijalar 3.34-rasmda ko'rsatilgan. Ushbu rasmlarda kuzatilgan natijalarga mos kelish uchun psevd birinchi tartibli modellar va psevd ikkinchi tartibli modellar ishlatilgan. Olingan korrelyatsiya koeffitsientlari 2 va 3-jadvallarda keltirilgan.

2-jadval

$\text{Ca}^{2+}$  ionining turli eritmalardagi adsorbsion kinetikasi uchun psevd-birinchi tartibli model va psevd ikkinchi tartibli modelning korrelyatsiya koeffitsientlari

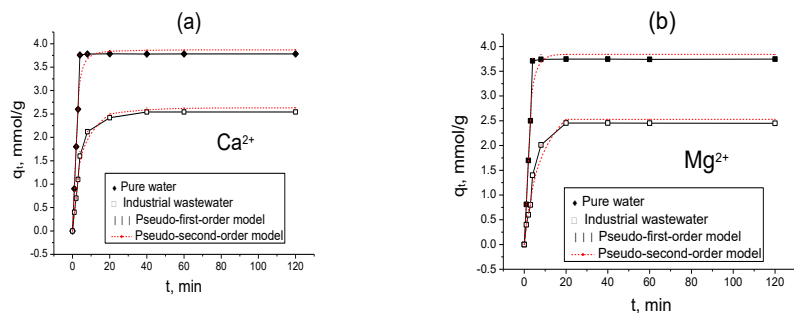
		Psevd birinchi tartibli model			Psevd ikkinchi tartibli model		
		$R^2$	$q_e$	$k_1$	$R^2$	$q_e$	$k_2$
suv	Toza	0.997	3.76	2.2	0.985	3.79	2.8
	Sanoat oqova suvi	0.984	2.52	0.7	0.974	2.45	7.7

3-jadval

$\text{Mg}^{2+}$  ionining turli eritmalarda adsorbsiyalanish kinetikasi uchun psevd birinchi tartibli model va psevd ikkinchi tartibli modelning korrelyatsiya koeffitsientlari

	Psevd-birinchi-tartibli model			Psevd-ikkinchi-tartibli model		
	$R^2$	$q_e$	$k_1$	$R^2$	$q_e$	$k_2$
Toza suv	0.994	3.69	1.8	0.981	3.73	2.4
Sanoat oqova suvi	0.974	2.35	0.5	0.976	2.44	6.5

3 a va 3 b rasmlar shuni ko'rsatadiki,  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlarining sof suvda adsorbsiya tezligi juda yuqori va adsorbsiya jarayonlari 10 daqiqalik aloqadan keyin muvozanatga erishadi.



3-rasm.  $\text{Ca}^{2+}$  (a) va  $\text{Mg}^{2+}$  (b) ionlarining toza suv va sanoat chiqindi suvlari eritmasi adsorbsiya kinetikasi, 5 g quruq kationit metall ionlarining dastlabki konsentratsiyasi 0,25 mol / l

Sanoat chiqindi suvlarida  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlarining adsorbsiya tezligi sekin kechgan va ularning kationitdagi adsorbsiya jarayonlari 60 daqiqadan keyin muvozanat holatiga keldi. Adsorbsiya tezligi  $\text{Ca}^{2+}$  ionlari uchun taxminan 3,76 mmol / g (psevdo birinchi tartibli model) va 3,79 mmol / g (psevdo ikkinchi tartibli model), shuningdek 3,69 mmol / g (birinchi tartibli model) va 3,73 mmol / g (psevdo ikkinchi tartibli model) mos ravishda toza suvdagi  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun stabilashgan. Biroq, sanoat oqova suvlarida bu qiymatlar asta-sekin kamayadi, chunki sanoat oqova suvlari adsorbsion jarayonlarga ta'sir qiladi. 3.6 va 3.7-jadvallardan ko'rinish turibdiki, korrelyatsiya koeffitsienti  $k_2$  ortdi va  $k_1$  kamaydi. Masalan,  $\text{Ca}^{2+}$  ionining adsorbsion tabiati uchun  $k_2$  miqdori toza suvda va sanoat oqova suvlarida mos ravishda 2,8 va 7,7 g (mmol/min) ni tashkil etgan bo'lsa,  $\text{Ca}^{2+}$  ionining adsorbsion tabiati uchun  $k_1$  miqdori 1,8 va 0 ga teng bo'lgan.  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari uchun natijalarga ko'ra,  $k_1$  va  $k_2$  tendentsiyalari  $\text{Ca}^{2+}$  uchun xuddi shunday tendentsiyaga ega. Bundan tashqari, sanoat chiqindi suvlarida tanlangan kationitning adsorbsion qobiliyati toza suvga qaraganda past ekanligini ko'rsatish mumkin. Ushbu natijalar tanlangan kationitning adsorbsion qobiliyati toza suvda ham, sanoat oqova suvlarida ham yuqori ekanligini isbotlandi.

**Xulosa.** Kuchli kislotali kationning sanoat chiqindi suvlaridan magniy va kalsiy ionlarining adsorbsion muvozanati, kinetikasi, termodinamikasi va dinamik ajralishi o'rganilib, umumlashtirildi. Kuchli kislotali kationit KP-1 kationiti 293-333 K harorat oralig'ida magniy va kalsiy ionlarini sanoat oqova suvlaridan samarali ravishda ajratadi. Dinamik ajratish kuzatuv tanlangan kationitlar dinamik sharoitda magniy va kalsiy ionlarini toza suvdan va sanoat oqova suvlaridan samarali ravishda ajratib olishini va 5 mol / l  $\text{H}_2\text{SO}_4$  bilan osongina qayta tiklanishini tasdiqlandi. Olingan termodinamik parametrlar o'rganilayotgan adsorbsiya endotermik ekanligini ko'rsatdi. Lengmuir izotermasi natijalari shuni ko'rsatdiki, o'rganilayotgan kationitning adsorbsion quvvati mos ravishda magniy va kalsiy ionlari uchun 3,78 mmol / g va 3,74 mmol / g ni tashkil etdi. Psevdo-birinchi tartibli model magniy va kalsiy ionlarining kationda adsorbsiyalanish kinetikasi uchun ko'proq mos keladi. Adsorbsion muvozanatga 10 daqiqalik aloqa vaqtida erishiladi. Tanlangan kationitning sorbsiya qobiliyati oqim tezligining oshishi bilan o'zgarasligi aniqlangan.

#### ADABIYOTLAR

1. Куртукова Л.В. Исследования по очистке воды от солей жесткости с использованием новых минеральных сорбентов / Л.В. Куртукова, В.А. Сомин, Л.Ф.Комарова А.А.Боценко // Ползуновский вестник. - 2011. - №4-2, - С. 150-152.
2. Пат. 2394628 Российская Федерация, МПК51 В01Д39/14, В01J20/22. Способ получения сорбционно-ионообменного материала / Сомин В.А., Комарова Л.Ф., Кондратюк Е.В., Куртукова Л.В., Лебедев И.А.; патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. - № 2009109670/15; заявл. 17.03.2009, опубл. 20.07.2010.
3. Бекман, И.Н. Диагностика базальтовых волоконных адсорбентов / И.Н. Бекман // Вестник Московского университета. - 2003. - Т. 44. №5 - С. 342-351. 88. Собгайда Н.А. Методология очистки сточных во химические и нефтехимические отрасли промышленности фитосорбентами и модифицированными отходами агропромышленного комплекса: дисс. док. техн. наук: 03.02.08-05 / Собгайда Н. А. - Саратов, 2011. 304 с.
4. ГОСТ 20255.2-89 Иониты. Методы определения динамической обменной емкости: Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. - 16 с.
5. Kucharov A. et al. Development of technology for water concentration of brown coal without use and use of red waste in this process as a raw material for colored glass in the glass industry //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 264. – С. 01050.
6. Юсупов Ф. М. и др. Улучшение качества бурых углей марки 2бр-в2 и 2бомш-62 с помощью химической обработки //Universum: технические науки. – 2020. – №. 3-2 (72). – С. 43-46.
7. Хурсандов Б. Ш., Кўчаров А. А. У., Юсупов Ф. М. Исследование свойств сернистого битума, полученного на основе модифицированной полимерной серы //Universum: технические науки. – 2022. – №. 12-6 (105). – С. 21-25.
8. Юсупов, Фарход Махкамovich, et al. "Свойства сферических гранул на основе оксида алюминия." Universum: химия и биология 3-1 (69) (2020): 59-63.
9. Халилов С., Кўчаров А. Кўмир таркибидаги рангли ва қора металлрни экологияга таъсирини илмий тадқиқи натижалари //Journal of Experimental Studies. – 2023. – Т. 1. – №. 3. – С. 8-12.
10. Саидмуродов Р., Юсупов Ф. Ишлатилган цеолитларни термик ишлаш орқали табиий газни қуритиш жараёнига боғлиқлигини таҳлили натижалари //Journal of Experimental Studies. – 2023. – Т. 1. – №. 4. – С. 1-9.