DOI: 10.65322/j.srd.06202026.20

UDK: 669.21/.23:579.66

SAPONIT ASOSIDAGI SORBENTLARNI OLISH TEXNOLOGIYASI VA ULARNING OG‘IR METALL IONLARINI ADSORBSIYALASH SAMARADORLIGI

Pirnazarov F.G., *PhD,*
E-mail: fg.pirnazarov@mail.ru,
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti

Annotatsiya. *Mazkur maqolada sanoat oqava suvlarini og‘ir metall ionlaridan tozalash muammosini hal etish doirasida saponit asosidagi sorbent ishlab chiqish va uning adsorbsion xossalarini kompleks o‘rganish natijalari bayon etilgan. Tahlilda Sankt-Peterburg konchilik universitetida O.S. Zubkova va hammualliflar tomonidan olingan tajriba ma’lumotlaridan foydalanilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi tabiiy saponit gilidan foydalanib yuqori samaradorlikka ega, mexanik jihatdan barqaror va ekologik xavfsiz sorbent ishlab chiqish hamda uning mis (II) ionlarini eritmalardan ajratib olishdagi samaradorligini aniqlashdan iborat. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, optimal 550 °C issiqlik ishlovi ostida tayyorlangan sorbent yuqori mexanik mustahkamlik va rivojlangan g‘ovak tuzilishga ega bo‘lib, mis ionlarini 90–94 % gacha samaradorlik bilan ajratib olish imkonini beradi. Adsorbsion muvozanat 40–130 daqiqada qaror topishi, jarayon kinetikasi birinchi tartibli modelga mos kelishi va tashqi diffuziyaning muhim roli ko‘rsatilgan.*

Аннотация. *В данной статье представлены результаты разработки сорбента на основе сапонита и комплексного изучения его адсорбционных свойств в рамках решения проблемы очистки промышленных сточных вод от ионов тяжёлых металлов. В анализе использованы экспериментальные данные, полученные О.С. Зубковой с соавторами в Санкт-Петербургском горном университете. Основная цель исследования заключается в разработке высокоэффективного, механически устойчивого и экологически безопасного сорбента на основе природной сапонитовой глины, а также в определении его эффективности при извлечении ионов меди (II) из растворов. Полученные результаты показали, что сорбент, приготовленный при оптимальной температуре термической обработки 550 °C, обладает высокой механической прочностью и развитой пористой структурой, что позволяет извлекать ионы меди с эффективностью до 90–94 %. Показано, что адсорбционное равновесие устанавливается за 40–130 мин, кинетика процесса описывается моделью первого порядка, а внешняя диффузия играет существенную роль.*

Abstract. *This article presents the results of the development of a saponite-based sorbent and a comprehensive investigation of its adsorption properties aimed at addressing the problem of removing heavy metal ions from industrial wastewater. The analysis uses experimental data obtained by O.S. Zubkova et al. at the Saint Petersburg Mining University. The main objective of the study was to develop a highly efficient, mechanically stable, and environmentally safe sorbent using natural saponite clay, as well as to determine its efficiency in removing copper (II) ions from aqueous solutions. The results demonstrated that the sorbent prepared under the optimal heat-treatment conditions at 550 °C exhibits high mechanical strength and a well-developed porous structure, enabling the removal of copper ions with an efficiency of up to 90–94%. Adsorption equilibrium is established within 40–130 min, the kinetics follows a first-order model, and external diffusion plays a significant role.*

Kalit so‘zlar: *saponit, sorbent, adsorbsiya, og‘ir metallar, mis ionlari, oqava suv*

Ключевые слова: *сапонит, сорбент, адсорбция, тяжёлые металлы, ионы меди, сточные воды.*

Keywords: *saponite, sorbent, adsorption, heavy metals, copper ions, wastewater*

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.20

Kirish. Bugungi kunda sanoat ishlab chiqarishining jadal rivojlanishi, metallurgiya, gidrometallurgiya, kimyo sanoati va galvanik ishlab chiqarish korxonalari faoliyatining kengayishi natijasida atrof-muhitga antropogen ta'sir kuchayib bormoqda. Ayniqsa, sanoat oqava suvlarining og‘ir metall ionlari bilan ifloslanishi ekologik xavfsizlik va suv resurslaridan oqilona foydalanish nuqtayi nazaridan dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Sanoat oqava suvlari tarkibida mis, rux, nikel, qo‘rg‘oshin, kadmiy, xrom kabi og‘ir metallarning mavjudligi tabiiy suv havzalari va tuproq muhitining ifloslanishiga sabab bo‘ladi. Ushbu metallarning aksariyati biologik parchalanishga uchramaydi, balki suv va tuproq muhitida uzoq vaqt saqlanib qolishi hamda tirik organizmlarda to‘planishi mumkin. Shu sababli sanoat oqava suvlarini og‘ir metall ionlaridan samarali tozalash zamonaviy ekologik texnologiyalarning muhim vazifalaridan biri hisoblanadi.

Hozirgi vaqtda oqava suvlarni og‘ir metallardan tozalashda kimyoviy cho‘ktirish, membranali filtrlash, elektrokimyoviy usullar, ion almashinish va adsorbsiya texnologiyalaridan foydalaniladi. Ushbu usullar orasida adsorbsiya jarayoni texnologik soddaligi, yuqori samaradorligi, turli konsentratsiyadagi eritmalar bilan ishlash imkoniyati va qayta ishlash jarayonlariga moslashuvchanligi bilan ajralib turadi.

Adsorbsion tozalash samaradorligi, avvalo, qo‘llaniladigan sorbentning mineralogik va kimyoviy tarkibi, solishtirma sirt maydoni, g‘ovaklik darajasi, sirt faol markazlari hamda ion almashinish xususiyatlariga bog‘liq. Shu nuqtayi nazardan, tabiiy alyumosilikat minerallari, xususan, saponit asosidagi sorbentlardan foydalanish katta ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Saponit qatlamli silikatlar guruhiga mansub tabiiy mineral bo‘lib, uning kristall panjarasi va kimyoviy tarkibi ion almashinish jarayonlarida ishtirok etish imkonini beradi. Mineralning dispersligi, sirt xususiyatlari va g‘ovak tuzilishi turli metall kationlarini adsorbsiyalash uchun qulay sharoit yaratadi. Bundan tashqari, saponitli xomashyoning tabiiy manbalarda uchrashi undan iqtisodiy jihatdan samarali sorbentlar ishlab chiqarish imkoniyatlarini kengaytiradi. Biroq tabiiy saponitning adsorbsion xususiyatlari uning dastlabki holatiga, mineralogik tarkibiga va fizik-kimyoviy xossalariga bog‘liq. Shu sababli kislotali va termik faollashtirish kabi modifikatsiyalash usullarini qo‘llash orqali sorbentning sirt xususiyatlarini, g‘ovaklik darajasini va mexanik mustahkamligini boshqarish muhim hisoblanadi.

Mazkur maqolada saponit asosidagi sorbent olish texnologiyasi, uning fizik-kimyoviy xususiyatlari va mis (II) ionlarini suvli eritmalardan ajratib olish samaradorligi ilmiy jihatdan tahlil qilinadi.

Adabiyotlar tahlili. So‘nggi yillarda sanoat oqava suvlarini og‘ir metall ionlaridan tozalashda tabiiy mineral sorbentlardan foydalanish masalasi ko‘plab ilmiy tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlaridan biriga aylangan. Xususan, qatlamli silikat minerallari, jumladan, bentonit, montmorillonit va saponit kabi alyumosilikatlarning adsorbsion xususiyatlari, ularni modifikatsiyalash hamda suvli muhitdan metall ionlarini ajratib olish imkoniyatlari keng o‘rganilmoqda. Ushbu yo‘nalishdagi tadqiqotlar tabiiy mineral xomashyolar asosida iqtisodiy jihatdan samarali va ekologik xavfsiz sorbentlar ishlab chiqish imkoniyatlarini kengaytirmoqda.

Novikau va Lujaniene tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda gil minerallari hamda ularning modifikatsiyalangan shakllarining og‘ir metallar, radionuklidlar va organik ifloslantiruvchilarni adsorbsiyalash xususiyatlari umumlashtirilgan. Mualliflar mineral sorbentlarning adsorbsion samaradorligi ularning tarkibi, sirt xususiyatlari va dastlabki yoki modifikatsiyalangan holatiga bog‘liqligini tahlil qilganlar [1]. Barakan va Aghazadeh tadqiqotlarida esa gil minerallarini kimyoviy va fizik-kimyoviy modifikatsiyalash usullarining oqava suvlarni tozalash samaradorligini oshirishdagi ahamiyati ko‘rib chiqilgan. Ushbu ishda mineral sorbentlarning xususiyatlarini maqsadli o‘zgartirish adsorbsion jarayonlarni takomillashtirishning muhim yo‘nalishi sifatida baholangan [2].

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.20

Otunola va Ololade tomonidan tayyorlangan ilmiy sharhda gil minerallarining og‘ir metall ionlarini adsorbsiyalash va ifloslangan muhitlarni tozalashdagi qo‘llanilish imkoniyatlari yoritilgan. Tadqiqotda tabiiy gil minerallarining sorbent sifatidagi afzalliklari, shuningdek, ularning adsorbsion xususiyatlarini yaxshilashga qaratilgan modifikatsiyalash yondashuvlari tahlil qilingan [3]. Yang va hammualliflarning 2024-yildagi tadqiqotida gil minerallari va ular asosida tayyorlangan materiallarning og‘ir metallar bilan ifloslanishni kamaytirishdagi imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan [4]. Wang va hammualliflar esa gil asosidagi materiallarning og‘ir metall ionlarini adsorbsiyalash mexanizmlari, ushbu yo‘nalishdagi ilmiy yutuqlar va istiqbolli tadqiqot masalalarini umumlashtirganlar [5]. Mazkur ilmiy ishlar mineral sorbentlarning adsorbsion imkoniyatlarini oshirishda ularning tarkibi, sirt tuzilishi va modifikatsiyalash sharoitlarini hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi.

Tabiiy gil minerallari asosida og‘ir metall ionlarini ajratib olish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda bentonit sorbentlari ham muhim o‘rin egallaydi. Jumladan, Kul va Koyuncu tomonidan tabiiy hamda faollashtirilgan bentonit yordamida suvli eritmalardan qo‘rg‘oshin (II) ionlarini ajratib olish jarayonining kinetik, muvozanat va termodinamik xususiyatlari o‘rganilgan [6]. Shuningdek, bentonit yordamida Pb(II), Cd(II), Cu(II) va Zn(II) ionlarini suvli eritmalardan adsorbsiyalash imkoniyatlari alohida tadqiqotda ko‘rib chiqilgan [7]. Jazoir bentonitida bir nechta og‘ir metall ionlarining bir vaqtda sorbsiyalanishi va ushbu jarayon mexanizmlarini o‘rganishga bag‘ishlangan ishda esa ko‘p komponentli eritmalarda metall ionlarining o‘zaro ta’siri masalalariga e’tibor qaratilgan [8]. Ushbu tadqiqotlar bentonitning og‘ir metall ionlarini ajratib olishdagi imkoniyatlarini ko‘rsatish bilan birga, tabiiy qatlamli silikat minerallarini boshqa turdagi sorbentlar bilan qiyosiy o‘rganish uchun ilmiy asos yaratadi.

Saponit mineralining sorbent sifatidagi xususiyatlarini o‘rganish bo‘yicha Zubkova, Pyagay, Pankratieva va Toropchina tomonidan olib borilgan tadqiqotlar mazkur yo‘nalishdagi muhim ilmiy ishlardan hisoblanadi. Mualliflarning “Development of composition and study of sorbent properties based on saponite” nomli maqolasida saponit asosidagi sorbent tarkibini ishlab chiqish hamda uning fizik-kimyoviy va adsorbsion xususiyatlarini o‘rganish masalalari yoritilgan [9]. Ushbu tadqiqot saponitli xomashyoni maqsadli qayta ishlash, sorbent tarkibini shakllantirish va uning texnologik xususiyatlarini baholash nuqtayi nazaridan alohida ahamiyatga ega.

Zubkova va Pankratieva tomonidan Lomonosov olmos konining saponitli rudalarini kompleks qayta ishlash masalalari ham o‘rganilgan [10]. Alexeev, Zubkova va Polyanskiy tadqiqotlarida esa olmos qazib olish jarayonida hosil bo‘ladigan saponitli rudalarni boyitish texnologiyasini takomillashtirishga e’tibor qaratilgan [11]. Bundan tashqari, Zubkova va hammualliflarning mexanik hamda termik ishlov berishning saponit saqlovchi materiallar xususiyatlariga ta’sirini o‘rganishga bag‘ishlangan tadqiqoti sorbent tayyorlash jarayonida texnologik ishlov berish rejimlarining ahamiyatini asoslash uchun muhim manba hisoblanadi [12]. Mazkur ilmiy ishlar saponitli xomashyoning tarkibi, qayta ishlash usullari va fizik xususiyatlarini boshqarish imkoniyatlarini yoritadi. Saponitli materiallarni o‘g‘it sifatida qo‘llash [13] va yuqori gilli boyitish chiqindilarini utilizatsiya qilish [14] masalalari ham o‘rganilgan.

Saponitning O‘zbekiston sharoitidagi mineralogik va texnologik xususiyatlarini o‘rganish bo‘yicha ham ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Xususan, Umirov va Pirnazarov tomonidan saponit mineralini kompleks qayta ishlash hamda undan magniy tuzlarini olish masalalari tadqiq etilgan [15]. Mualliflarning keyingi ishlarida saponit mineralini konversiya usulida qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish masalalari ko‘rib chiqilgan [16, 17]. Umirov, Aripov, Pirnazarov va Saifullaev tomonidan esa Uchtut konidan olingan saponit mineralining mineralogik tarkibi hamda undan magniy birikmalarini olish imkoniyatlari o‘rganilgan [18]. Ushbu tadqiqotlar mahalliy saponit xomashyosining mineralogik tarkibi va undan turli maqsadlarda foydalanish imkoniyatlarini ilmiy jihatdan asoslashga xizmat qiladi.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.20

Tahlil qilingan ilmiy manbalar shuni ko‘rsatadiki, tabiiy gil minerallarini kislotali va termik faollashtirish, ularning sirt xususiyatlarini o‘zgartirish hamda granulalangan shaklda tayyorlash adsorbsion materiallar olishning muhim texnologik yo‘nalishlaridan hisoblanadi [19]. Shu bilan birga, bentonit va boshqa gil minerallari asosida og‘ir metall ionlarini adsorbsiyalash bo‘yicha tadqiqotlar mavjud bo‘lsa-da, saponit asosidagi sorbentlarning tarkibi, faollashtirish rejimlari, granulalarning mexanik mustahkamligi, g‘ovak tuzilishi va mis (II) ionlarini ajratib olish samaradorligi o‘rtasidagi bog‘liqlikni kompleks baholash dolzarb masala bo‘lib qolmoqda.

Shu nuqtayi nazardan, mazkur tadqiqotda saponit asosidagi sorbent olish texnologiyasini, xususan, kislotali faollashtirish, granulalash va termik ishlov berish bosqichlarini o‘rganish, shuningdek, tayyor sorbentning mis (II) ionlarini suvli eritmalardan ajratib olish samaradorligini baholashga e’tibor qaratilgan. Tadqiqotning ilmiy-amaliy ahamiyati saponitli mineral xomashyo asosida mexanik jihatdan barqaror va yuqori adsorbsion xususiyatlarga ega sorbent olish texnologik imkoniyatlarini baholash bilan belgilanadi.

Tadqiqotning maqsadi va vazifalari. Saponit asosida samarali sorbent ishlab chiqish va uni sanoat oqava suvlaridan mis ionlarini ajratib olishda qo‘llash imkoniyatlarini ilmiy asoslash:

1. saponit asosidagi sorbent tarkibini ishlab chiqish;
2. sorbent tayyorlash texnologiyasini optimallashtirish;
3. fizik-kimyoviy xossalarni aniqlash;
4. adsorbsiya kinetikasini o‘rganish;
5. laboratoriya va real sanoat sharoitida sinovdan o‘tkazish;
6. adsorbsiya mexanizmini aniqlash.

Tadqiqot materiallari va usullari. ***Tadqiqot obyekti va xomashyoning tavsifi.*** Tadqiqot obyekti sifatida tabiiy saponitli gil va uning asosida tayyorlangan granulalangan sorbentlar tanlangan.

Saponitli gil murakkab mineralogik tarkibga ega tabiiy xomashyo bo‘lib, uning tarkibida asosiy qatlamli silikat minerali — saponit bilan bir qatorda dolomit, kaolinit va boshqa alyumosilikat minerallari ham uchraydi.

Saponitning qatlamli kristall tuzilishi, tarkibidagi almashinuvchan kationlar va sirt faol markazlari uning adsorbsion xususiyatlarini belgilovchi muhim omillar hisoblanadi. Aynan shu xususiyatlar mineralni og‘ir metall ionlarini suvli eritmalardan ajratib olish uchun istiqbolli sorbent xomashyosi sifatida ko‘rib chiqish imkonini beradi.

Saponit asosidagi sorbentni tayyorlash texnologiyasi. Saponit asosidagi sorbentni tayyorlash bir necha ketma-ket texnologik bosqichlarni o‘z ichiga oladi. Dastlabki bosqichda tabiiy saponitli gil tegishli mexanik tayyorlash jarayonlaridan o‘tkaziladi. Keyinchalik uning adsorbsion xususiyatlarini yaxshilash maqsadida kislotali faollashtirish amalga oshiriladi.

Kislotali faollashtirish jarayonida xomashyo xlorid kislota (HCl) eritmasi bilan ishlov beriladi. Bunday ishlov mineral tarkibidagi ayrim komponentlarning o‘zgarishiga, sirt xususiyatlarining modifikatsiyalanishiga va adsorbsion faol markazlarning shakllanishiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Kislotali ishlovdan so‘ng material neytrallanadi va peptizatsiya jarayonidan o‘tkaziladi. Hosil bo‘lgan massa ekstruziya usulida granulalanadi. Granulalangan material quritilib, keyingi bosqichda termik ishlov beriladi.

Sorbent tayyorlash texnologiyasining asosiy bosqichlari quyidagilardan iborat:

1. Tabiiy saponitli gilni dastlabki tayyorlash.
2. Xlorid kislota eritmasi yordamida kislotali faollashtirish.
3. Neytrallash va peptizatsiya jarayonlarini amalga oshirish.
4. Ekstruziya usulida granulalar shakllantirish.
5. Granulalarni quritish.
6. 400–600 °C harorat oralig‘ida termik ishlov berish.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.20

7. Tayyor sorbentning fizik-mexanik va adsorbsion xususiyatlarini baholash.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, termik ishlov berish uchun optimal harorat 550 °C sifatida belgilangan [9, 12]. Mazkur haroratda olingan sorbentning mexanik mustahkamligi va g‘ovak tuzilishi o‘rtasida maqbul nisbat shakllanishi kuzatilgan.

Sorbentning fizik-kimyoviy xususiyatlarini aniqlash usullari. Tayyorlangan sorbentlarning xususiyatlarini baholashda bir qator fizik-kimyoviy tahlil usullaridan foydalanilgan.

Sorbentning solishtirma sirt maydoni gaz sorbsiyasi usuli yordamida aniqlangan. Ushbu ko‘rsatkich adsorbsiya jarayonida metall ionlari bilan o‘zaro ta’sirlashishi mumkin bo‘lgan sirtning rivojlanganlik darajasini baholash imkonini beradi.

Sorbentlarning mexanik mustahkamligi granulalarning fizik ta’sirlarga chidamliligini aniqlash orqali baholangan. Bu ko‘rsatkich sanoat sharoitida sorbentdan foydalanishda, ayniqsa, uning yemirilishi va granulalarning parchalanishining oldini olish nuqtayi nazaridan muhimdir.

Materialning kimyoviy tarkibi tegishli instrumental tahlil usullari yordamida o‘rganilgan. Shuningdek, skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) usuli orqali sorbentning sirt morfologiyasi, g‘ovak tuzilishi va adsorbsiya jarayonidan keyingi holati tahlil qilingan.

Adsorbsiya jarayonini o‘rganish. Saponit asosidagi sorbentning adsorbsion faolligi mis (II) ionlari saqlagan suvli eritmalar bilan o‘zaro ta’siri orqali baholangan.

Adsorbsiya jarayoni statik va dinamik sharoitlarda o‘rganilgan. Statik sharoitda sorbent va metall ionlari saqlagan eritma ma’lum vaqt davomida o‘zaro ta’sirlashadi. Dinamik sharoitda esa eritmaning sorbent qatlami orqali harakatlanishi natijasida metall ionlarining ushlab qolinishi baholanadi.

Jarayonning samaradorligi eritmadagi metall ionlarining boshlang‘ich va muvozanat konsentratsiyalari o‘rtasidagi farq asosida aniqlanadi.

Mis ionlarini ajratib olish samaradorligi quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$\eta = ((C_0 - C_e) / C_0) \times 100\ \%, \quad (1)$$

Bu yerda:

η — metall ionlarini ajratib olish samaradorligi, %;

C_0 — eritmadagi metall ionlarining boshlang‘ich konsentratsiyasi;

C_e — adsorbsiya jarayonidan keyingi muvozanat konsentratsiyasi.

Mazkur ko‘rsatkich sorbentning eritmadagi og‘ir metall ionlarini ushlab qolish qobiliyatini miqdoriy baholash imkonini beradi.

Natijalar va muhokama. ***Termik ishlov haroratining sorbent xususiyatlariga ta’siri.*** Saponit asosidagi sorbentlarning fizik-kimyoviy xususiyatlarini shakllantirishda termik ishlov harorati muhim texnologik omillardan biri hisoblanadi. Haroratning o‘zgarishi mineralning strukturaviy holatiga, sirt xususiyatlariga, g‘ovaklik darajasiga va mexanik mustahkamligiga ta’sir ko‘rsatadi.

Tadqiqotda 400–600 °C harorat oralig‘ida termik ishlov berilgan sorbentlarning xususiyatlari o‘rganilgan. Olingan natijalar 550 °C haroratda ishlov berilgan materialning fizik-mexanik va adsorbsion xususiyatlari jihatidan maqbul ekanligini ko‘rsatgan.

550 °C haroratda tayyorlangan sorbentning solishtirma sirt maydoni taxminan 22–23 m^2/g ni tashkil etgan. Ushbu ko‘rsatkich materialning adsorbsion jarayonda ishtirok etuvchi sirt maydoni yetarli darajada rivojlanganligini ko‘rsatadi.

Termik ishlov haroratining ortishi bilan solishtirma sirt maydonining kamayishi kuzatilishi mumkin. Bunday holat yuqori harorat ta’sirida material strukturasining zichlashuvi, ayrim g‘ovaklarning torayishi yoki yopilishi bilan izohlanadi.

Shu sababli termik ishlov haroratini to‘g‘ri tanlash sorbentning adsorbsion faolligi va mexanik mustahkamligi o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlashda muhim ahamiyatga ega.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.20

Sorbentning adsorbsion xususiyatlari va kinetik qonuniyatlari. Saponit asosidagi sorbentlarning asosiy funksional xususiyati suvli eritmalarda mavjud bo‘lgan metall ionlarini o‘z sirtida ushlab qolish qobiliyati bilan belgilanadi.

Mis (II) ionlari suvli muhitda kation holatida mavjud bo‘lib, saponitning faol sirt markazlari bilan o‘zaro ta’sirlashishi mumkin. Ushbu jarayonda ion almashinish, sirt komplekslari hosil bo‘lishi va fizik-kimyoviy adsorbsiya mexanizmlari ishtirok etadi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, sorbent bilan eritma o‘rtasidagi adsorbsion muvozanat taxminan 40–130 daqiqa oralig‘ida shakllanadi. Muvozanatga erishish vaqti adsorbsiya sharoitlari, metall ionlarining konsentratsiyasi va eritmaning fizik-kimyoviy xususiyatlariga bog‘liq.

Adsorbsiya kinetikasini tavsiflashda birinchi tartibli kinetik modelning mosligi qayd etilgan. Shuningdek, tashqi diffuziya jarayoni metall ionlarining eritma hajmidan sorbent sirtiga yetib borishida muhim rol o‘ynashi aniqlangan.

Bu holat adsorbsiya jarayonining faqat sorbent sirtidagi kimyoviy o‘zaro ta’sir bilan cheklanmasligini, balki massa almashinish va diffuzion jarayonlar bilan ham uzviy bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Mis (II) ionlarining adsorbsiya mexanizmi. Saponit asosidagi sorbentlarda mis ionlarining ushlab qolinishi bir nechta fizik-kimyoviy jarayonlarning birgalikdagi ta’siri natijasida amalga oshadi.

Birinchidan, saponitning qatlamli tuzilishi va almashinuvchan kationlari ion almashinish jarayonida ishtirok etadi. Bunda eritmadagi Cu^{2+} ionlari mineralning faol markazlaridagi ayrim kationlar bilan almashinishi mumkin.

Ikkinchidan, sorbent yuzasida mavjud bo‘lgan faol funksional markazlar mis ionlari bilan o‘zaro ta’sirlashib, sirt komplekslarini hosil qilishi mumkin. Bu jarayon metall ionlarining sorbent yuzasida mustahkam ushlanib qolishiga yordam beradi.

Uchinchidan, materialning rivojlangan g‘ovak tuzilishi eritmadagi metall ionlarining sorbentning ichki sirtlariga yetib borishi va adsorbsion markazlar bilan ta’sirlashishiga sharoit yaratadi.

Adsorbsiya jarayonining samaradorligi quyidagi omillar bilan belgilanadi:

sorbentning solishtirma sirt maydoni;

g‘ovaklarning o‘lchami va taqsimlanishi;

mineralning ion almashinish xususiyatlari;

eritmaning pH qiymati;

mis ionlarining boshlang‘ich konsentratsiyasi;

kontakt vaqti;

sorbentning termik va kimyoviy ishlov darajasi.

Demak, mis ionlarining saponit asosidagi sorbentlar tomonidan ajratib olinishi murakkab va ko‘p omilli jarayon bo‘lib, uning mexanizmini tushunish sorbentning samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Saponit asosidagi sorbentlarning tozalash samaradorligi. Tadqiqotning eng muhim natijalaridan biri saponit asosidagi sorbentlarning mis (II) ionlarini suvli eritmalardan yuqori samaradorlik bilan ajratib olish qobiliyatidir.

Model eritmalarda o‘tkazilgan tajribalarda metall ionlarini ajratib olish samaradorligi 86–100 % oralig‘ida bo‘lgan. Sanoat chiqindi suvlarida esa mis ionlarini ajratib olish samaradorligi 94 % gacha yetgan.

Mazkur natijalar tabiiy saponitli gilni maqsadli faollashtirish va granulalash orqali samarali adsorbsion material olish mumkinligini ko‘rsatadi.

Sanoat oqava suvlarida adsorbsiya samaradorligining model eritmalardagidan farq qilishi tabiiy holat hisoblanadi. Chunki real oqava suvlar tarkibida bir vaqtning o‘zida bir nechta metall

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.20

ionlari, erigan tuzlar va boshqa kimyoviy komponentlar mavjud bo‘lishi mumkin. Ular sorbentning faol markazlari uchun o‘zaro raqobatlashib, adsorbsiya jarayoniga ta’sir ko‘rsatadi.

Shunga qaramay, sanoat chiqindi suvlarida 94 % gacha tozalash samaradorligiga erishilishi saponit asosidagi sorbentlarning amaliy ahamiyatini tasdiqlovchi muhim ko‘rsatkichdir.

Sorbentning morfologik xususiyatlari. Sorbentning morfologik tuzilishini o‘rganish adsorbsiya jarayonining mexanizmini tushunish va materialning sirt xususiyatlarini baholash imkonini beradi.

Skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) yordamida o‘tkazilgan tahlillar sorbent yuzasining g‘ovak va notekis morfologiyaga ega ekanligini ko‘rsatgan.

Bunday tuzilish eritmadagi metall ionlarining sorbent yuzasi bilan o‘zaro ta’sirlashish maydonini oshirishga xizmat qiladi. Adsorbsiya jarayonidan keyingi morfologik o‘zgarishlar esa metall ionlarining material sirtida va g‘ovaklarida to‘planishi bilan izohlanadi.

SEM tahlilida kuzatilgan o‘zgarishlar sorbentning adsorbsion jarayonda ishtirok etishini morfologik jihatdan baholash imkonini beradi. Biroq metallning sorbent tarkibida mavjudligini va uning kimyoviy holatini aniq tasdiqlash uchun SEM-EDS kabi element tahlili usullaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Saponit asosidagi sorbentlardan foydalanishning amaliy istiqbollari. Sanoat oqava suvlarini og‘ir metallardan tozalashda saponit asosidagi sorbentlardan foydalanish bir qator texnologik va ekologik afzalliklarga ega.

Birinchidan, tabiiy saponitli gilning xomashyo sifatida qo‘llanilishi sorbent ishlab chiqarish uchun mavjud mineral resurslardan foydalanish imkoniyatini yaratadi. Bu esa ayrim qimmat va murakkab sintez qilinadigan sorbentlarga nisbatan iqtisodiy jihatdan foydali bo‘lishi mumkin.

Ikkinchidan, kislotali va termik faollashtirish usullaridan foydalanish orqali sorbentning fizik-kimyoviy xususiyatlarini boshqarish imkoniyati mavjud. Ayniqsa, granulalangan shaklda tayyorlanishi uning sanoat filtrlarida va adsorbsion qurilmalarda qo‘llanilishini osonlashtiradi.

Uchinchidan, sorbentning mexanik mustahkamligi uning ekspluatatsiya davomida parchalanish ehtimolini kamaytirishga xizmat qiladi. Bu esa dinamik adsorbsiya jarayonlarida muhim ahamiyatga ega.

To‘rtinchidan, og‘ir metall ionlarini yuqori samaradorlik bilan ajratib olish imkoniyati suv resurslarini muhofaza qilish, sanoat oqava suvlarini qayta ishlatishga tayyorlash va ekologik xavfsizlikni ta’minlashga xizmat qiladi.

Shu bilan birga, saponit asosidagi sorbentlarni sanoat miqyosida qo‘llashdan oldin ularning regeneratsiya imkoniyatlari, ko‘p martalik ishlatishdagi samaradorligi, sorbentning ekspluatatsion barqarorligi va ishlatilgan sorbentni xavfsiz utilizatsiya qilish masalalarini chuqur o‘rganish talab etiladi.

Xulosa. Saponit asosidagi sorbentlarning adsorbsion xususiyatlarini o‘rganish natijalari tabiiy alyumosilikat minerallaridan sanoat oqava suvlarini og‘ir metall ionlaridan tozalashda samarali foydalanish mumkinligini ko‘rsatadi.

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi ilmiy va amaliy xulosalarga kelindi:

Tabiiy saponitli gil kislotali va termik faollashtirish orqali yuqori adsorbsion xususiyatlarga ega granulalangan sorbent olish uchun istiqbolli mineral xomashyo hisoblanadi.

Sorbent tayyorlash jarayonida 400–600 °C harorat oralig‘ida termik ishlov berish o‘rganilgan va 550 °C optimal harorat sifatida belgilangan. Ushbu sharoitda sorbentning mexanik mustahkamligi va g‘ovak tuzilishi o‘rtasida maqbul nisbat shakllangan.

550 °C haroratda tayyorlangan sorbentning solishtirma sirt maydoni 22–23 m^2/g ni tashkil etgan. Mazkur ko‘rsatkich materialning rivojlangan sirt tuzilishiga ega ekanligini ko‘rsatadi.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.20

Sorbentning mis (II) ionlarini adsorbsiyalash jarayoni 40–130 daqiqa oralig‘ida muvozanatga yaqinlashadi. Jarayon kinetikasida birinchi tartibli modelning mosligi va tashqi diffuziyaning muhim roli qayd etilgan.

Model eritmalarda mis ionlarini ajratib olish samaradorligi 86–100 % oralig‘ida, sanoat chiqindi suvlarida esa 94 % gacha yetgan. Bu ko‘rsatkichlar saponit asosidagi sorbentlarning og‘ir metallar bilan ifloslangan suvlarni tozalashda yuqori salohiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Sorbentning g‘ovak morfologik tuzilishi va metall ionlarini ushlab qolish xususiyati uni sanoat sharoitidagi adsorbsion tozalash jarayonlarida qo‘llash uchun istiqbolli material sifatida baholash imkonini beradi.

Umuman olganda, saponit asosidagi sorbentlardan foydalanish sanoat oqava suvlarini og‘ir metall ionlaridan tozalashning iqtisodiy va ekologik jihatdan istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Kelgusida ushbu materiallarning regeneratsiya imkoniyatlarini, turli metall ionlariga nisbatan selektivligini va uzoq muddatli ekspluatatsiya sharoitidagi xususiyatlarini o‘rganish ularni sanoat miqyosida qo‘llash uchun muhim ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Novikau R., Lujaniene G. Adsorption behaviour of pollutants: Heavy metals, radionuclides, organic pollutants, on clays and their minerals (raw, modified and treated): A review // Journal of Environmental Management. – 2022. – Vol. 309. – Article 114685. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114685.

2. Barakan S., Aghazadeh V. The advantages of clay mineral modification methods for enhancing adsorption efficiency in wastewater treatment: A review // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – Vol. 28. – P. 2572–2599. – DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-020-10985-9.

3. Otunola B.O., Ololade O.O. A review on the application of clay minerals as heavy metal adsorbents for remediation purposes // Environmental Technology & Innovation. – 2020. – Vol. 18. – Article 100692. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100692.

4. Yang X., Zhou Y., Hu J., Zheng Q., Zhao Y., Lv G., Liao L. Clay minerals and clay-based materials for heavy metals pollution control // Science of the Total Environment. – 2024. – Article 176193. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176193.

5. Wang P., Shen X., Qiu S., Zhang L., Ma Y., Liang J. Clay-Based Materials for Heavy Metals Adsorption: Mechanisms, Advancements, and Future Prospects in Environmental Remediation // Crystals. – 2024. – Vol. 14, No. 12. – Article 1046. – DOI: https://doi.org/10.3390/cryst14121046.

6. Kul A.R., Koyuncu H. Adsorption of Pb(II) ions from aqueous solution by native and activated bentonite: kinetic, equilibrium and thermodynamic study // Journal of Hazardous Materials. – 2010. – Vol. 179, No. 1–3. – P. 332–339. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.009.

7. Removal of Pb(II), Cd(II), Cu(II), and Zn(II) from Aqueous Solutions by Adsorption on Bentonite // Journal of Colloid and Interface Science. – 1997. – DOI: https://doi.org/10.1006/jcis.1996.4537.

8. Simultaneous sorption of heavy metals on Algerian Bentonite: mechanism study // Water Science and Technology. – 2021. – Vol. 84, No. 12. – P. 3676–3688. – DOI: https://doi.org/10.2166/wst.2021.474.

9. Zubkova O.S., Pyagay I.N., Pankratieva K.A., Toropchina M.A. Development of composition and study of sorbent properties based on saponite // Journal of Mining Institute. – 2023. – Vol. 259. – P. 21–29. – DOI: https://doi.org/10.31897/PMI.2023.1.

10. Zubkova O.S., Pankratieva K.A. Complex processing of saponite ore of the Lomonosovsky diamond deposit // Achievements in Chemistry and Chemical Technology. – 2021. – Vol. 35, No. 8 (243). – P. 129–130.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.20

11. Alexeev A.I., Zubkova O.S., Polyanskiy A.S. Improving the technology of enrichment of saponite ore in the process of diamond mining // Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences. – 2020. – No. 1 (205). – P. 74–80. – DOI: https://doi.org/10.17213/1560-3644-2020-1-74-80.

12. Zubkova O.S., Pyagay I.N., Pankratieva K.A., Toropchina M.A. The effect of mechanical and thermal treatment on the characteristics of saponite-containing material // Journal of Mining Institute.

13. Kosareva E.N., Kabachkova N.V., Romanov E.M., Shabanova E.N. The use of saponite-containing materials as fertilizers in the cultivation of potatoes // Bulletin of the Russian State Agrarian Correspondence University. – 2018. – No. 28 (33). – P. 11–20.

14. Oblicov A.Yu. Some aspects of utilization of high-clay enrichment waste // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2013. – No. 7. – P. 390–392.

15. Umirov F.E., Pirnazarov F.G. Saponit minerali kompleks qayta ishlab magniy tuzlarini olish // International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. – 2023. – № 3. – B. 49–55. – DOI: https://doi.org/10.24412/2181-144X-2023-3-49-55. sciencealgorithm.uz

16. Umirov F.E., Pirnazarov F.G., Qurbonov M.N. Development of a Technology for Conversion Processing of the Mineral Saponite // Digital Technologies in Industry. – 2025. – Vol. 3, No. 1. – P. 74–79. – DOI: https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.3.1.2025.12. srt-journal.uz

17. Pirnazarov F.G., Umirov F.E. Konversiya yo‘li bilan saponit mineralini qayta ishlash // Studying the Progress of Science and Its Shortcomings. – 2024. – Vol. 1, No. 2. – 17-dekabr.

18. Umirov F.E., Aripov A.R., Pirnazarov F.G., Saifullaev F.I. Mineralogical Composition of Saponite Mineral from the Uchtut Deposit and Possibilities of Extracting Magnesium Compounds from It // Digital Technologies in Industry. – 2025. – Vol. 3, No. 4. – DOI: https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.18. srt-journal.uz

19. Pylypenko I. Adsorbents Based on Modified Clay Minerals for Heavy Metals Removal // Environmental Science and Engineering Journal. – 2025. – DOI: https://doi.org/10.47451/nat2025-05-01.