

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVASIYALAR VAZIRLIGI
DENOV TADBIRKORLIK VA PEDAGOGIKA INSTITUTI**

**ISMATOV SUNNATULLO SHAMSULLOYEVICH
DONAYEV HUSNIDDIN TURSUNMURATOVICH**

**BENTONIT GILLARNING TUZILISHI,
AKTIVATSIYASI VA ZAMONAVIY NANOKOMPOZIT
TIZIMLARDA QO‘LLANISHI**

MONOGRAFIYA

DENOV – 2026

UO‘K 553.611.6:620.22

KBK 26.3+24.58

I-81

Ismatov S.Sh., Donayev H.T. /Bentonit gillarining tuzilishi, aktivatsiyasi va zamonaviy nanokompozit tizimlarda qo‘llanishi/ Monografiya. Ismatov S. Sh., Donayev H. T. Denov — DTPI 2026. 124 b.

“O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2026-yil 11-fevraldagi PQ-58-son qarorida O‘zbekistonda 42 ta yangi konlarni ishga tushirish orqali tog‘-kon va geologiya sohasini rivojlantirish davlat oldiga muhim vazifa etib belgilangan . Mazkur monografiyada o‘rganilgan bentonit gillarini aktivatsiyalash va nanokompozitlar olish texnologiyalari aynan shu strategik yo‘nalishning ilmiy-texnik bazasini mustahkamlashga xizmat qiladi.”

Mazkur monografiya bentonit gillarining geokimyoviy xususiyatlari, fizik-kimyoviy tuzilishi hamda ularni kislotali, ishqoriy, termik va fizik usullarda aktivatsiyalash jarayonlariga bag‘ishlangan. Shuningdek, organomodifikatsiyalash orqali organogillar olish, ustunli gillar (pillared gillar) sintezi va olingan mahsulotlarning zamonaviy nanokompozit tizimlarda qo‘llanilishining ilmiy-nazariy asoslari yoritilgan.

Tadqiqot doirasida gillarning aktivatsiya jarayonlarining fizik-kimyoviy mexanizmlari, olingan materiallarning sorbsion va strukturaviy xarakteristikalarini o‘zaro qiyosiy baholangan. Natijalar sorbsion texnologiyalar, kataliz va nanokompozit materiallar ishlab chiqarish sohalarida muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Taqrizchilar:

F.B. Eshqurbonov - Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti “Kimyo muhandisligi” kafedراسi professori, k.f.d. (DSc)

X.A. Adinayev - Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti “Umumiy kimyo va kimyoviy texnologiyalar” kafedراسi dotsenti, k.f.d.(DSc)

Ushbu monografiya Denov tadbirkorlik va pedagogika institutining №9-sonli Kengash yig‘ilish bayonidan ko‘chirma (06 may 2026 y)si asosida nashrga ruxsat berildi.

ISBN: 978-9910-09-942-7

@ Ismatov S.Sh., Donayev H.T.
@“Lochin Ta‘lim” nashriyoti. 2026.-yil

KIRISH

Hozirgi zamonaviy sanoat taraqqiyoti davrida tabiiy minerallar asosida yuqori samaradorlikka ega bo'lgan funksional materiallarni yaratish dolzarb ilmiy-texnik vazifalardan biri hisoblanadi. Bu borada bentonit gillari o'zining noyob strukturaviy tuzilishi, yuqori sorbsion xususiyatlari, ion almashinish qobiliyati va ekologik xavfsizligi bilan alohida ajralib turadi. Mazkur minerallar asosida olinadigan aktivatsiyalangan va modifikatsiyalangan mahsulotlar neft-gaz sanoati, qishloq xo'jaligi, ekologiya, kimyo va farmatsevtika sohalarida keng qo'llanilmoqda.

Mavzuning dolzarbligi: Global miqyosda sanoat ishlab chiqarishining jadallashuvi atrof-muhitni muhofaza qilish, chiqindisiz texnologiyalarni joriy etish va arzon hamda samarador mahalliy xomashyolardan foydalanish zaruratini keltirib chiqarmoqda. Bentonit gillari tabiatda keng tarqalgan, arzon va qayta tiklanadigan mineral xomashyo hisoblanadi. Biroq, ularning tarkibi va tuzilishi kon joylashgan hududga qarab farqlanishi sababli, ularni maqsadli istiqbollarda qo'llash uchun turli xil aktivatsiya (kislotali, ishqoriy, termik, fizik) va modifikatsiyalash usullarini qo'llash talab etiladi.

Ayniqsa, bentonitlarning nanostrukturali kompozit materiallar (nanokompozitlar) tarkibiga kiritilishi ularning mexanik, termik va to'siqlik xususiyatlarini keskin oshirish imkonini beradi. Shu bilan birga, ustunli gillar (pillared gillar) sintezi orqali katalizatorlar va adsorbentlar yaratish sohasida keng imkoniyatlar ochilmoqda. Shu jihatdan, bentonitlarning tuzilishini chuqur o'rganish, ularni aktivatsiyalashning optimal parametrlarini aniqlash va nanokompozit tizimlarda qo'llash istiqbollarini tahlil qilishga bag'ishlangan ushbu monografiya mavzusi dolzarb hisoblanadi.

Muammoning hozirgi holati: Dunyo miqyosida bentonit va boshqa qatlamli silikatlar asosida organogillar va ustunli gillar olish, ularni polimer nanokompozitlar tarkibiga kiritish bo'yicha keng ko'lamli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. AQSH, Xitoy, Yevropa Ittifoqi va Rossiya kabi rivojlangan davlatlarda bentonit xomashyosini chuqur qayta ishlash va yuqori qo'shimcha qiymatga ega mahsulotlar ishlab chiqarish texnologiyalari joriy etilgan.

O'zbekiston Respublikasida esa boy tabiiy bentonit zaxiralari mavjud bo'lishiga qaramay, ularni qayta ishlash darajasi va nanokompozit materiallar ishlab chiqarishga jalb etilishi hali yetarli darajada emas. Mavjud tadqiqotlar asosan xomashyoning dastlabki xususiyatlarini o'rganish bilan cheklanib qolgan bo'lib, ularni kompleks qayta ishlash, modifikatsiyalash

va innovatsion mahsulotlar (xususan, polimer nanokompozitlar, sorbentlar, katalizatorlar) olish texnologiyalarining ilmiy asoslari to'liq ishlab chiqilmagan.

Monografiyaning maqsadi va vazifalari

Monografiyaning maqsadi — bentonit gillarining kelib chiqishi, geokimyoviy xususiyatlari va tuzilishini tahlil qilish, ularni turli usullarda (kislotali, ishqoriy, termik, fizik) aktivatsiyalash jarayonlarining ilmiy asoslarini yoritish hamda olingan modifikatsiyalangan mahsulotlarning (organogillar, ustunli gillar) zamonaviy nanokompozit tizimlarda qo'llanilish imkoniyatlarini ilmiy jihatdan asoslashdan iborat.

Bentonit – asosan montmorillonitdan tashkil topgan, qatlamli tuzilishga ega noyob mineraldir. Uning asosiy xossalari – yuqori shishuvchanlik (natriyli bentonitlar 15-20 marta), kation almashinish sig'imi (80-150 mg-ekv/100g), yuqori solishtirma yuza (400-800 m²/g) va reologik xususiyatlari uni sanoatning 200 dan ortiq tarmog'ida qo'llash imkonini beradi.

Natriyli bentonitlar (asosan AQSh, Turkiya, Gruzziya konlari) yuqori shishuvchanlik va kolloid xususiyatlarga ega. Kalsiyli bentonitlar (Markaziy Osiyo, Rossiya, Yevropa konlari) keng tarqalgan, ammo soda aktivatsiyasini talab qiladi.

Kislotali aktivatsiya [Donayev, 2025; Emomov, 2005] bentonitning sorbsion xususiyatlarini oshirishning samarali usuli hisoblanadi. Optimal sharoitlar (90°C, 45-60 daqiqa, 20-25% HCl, 100% stexiometrik doza) da Al₂O₃ ekstraktsiyasi 93-94%, Fe₂O₃ ekstraktsiyasi 84-85% ga yetadi.

Olingan eritma (AlCl₃ va FeCl₃ aralashmasi) suvni tozalashda samarali koagulyant sifatida ishlatilishi mumkin. Kinetik tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, past haroratlarda (20-60°C) jarayon kinetik sohada (E_a=50-65 kJ/mol), yuqori haroratlarda (60-90°C) diffuzion sohada (E_a≈15 kJ/mol) boradi.

Soda aktivatsiyasi kalsiyli bentonitlarni natriyli bentonitlarga aylantirishning asosiy usuli bo'lib, shishishni 8-10 ml/2g dan 25-30 ml/2g gacha oshiradi. Optimal soda miqdori 3-5%, namlik 30-40%.

Monografiyaning asosiy vazifalari:

- bentonit gillarining geokimyoviy xususiyatlari va dunyo miqyosidagi zaxiralari to'g'risidagi ilmiy ma'lumotlarni umumlashtirish;
- bentonitlarning fizik-kimyoviy xossalari va ularga ta'sir etuvchi omillarni tahlil qilish;
- kislotali, ishqoriy, termik va fizik aktivatsiyalash usullarining mohiyati, afzallik va kamchiliklarini qiyosiy baholash;

- organik modifikatsiyalash jarayonlari va organogillarni olish texnologiyasini o'rganish;
- ustunli gillar (pillared gillar) sintez qilish usullari va ularning xossalari tahlil qilish;
- aktivatsiyalangan va modifikatsiyalangan bentonitlarning zamonaviy nanokompozit materiallar tarkibida qo'llanilish istiqbollarini asoslash.

Monografiyaning asosiy ilmiy yangiliklari

1. O'zbekiston, Tojikiston va Qozog'iston bentonitlarining kislotali parchalanish kinetikasi birinchi marta batafsil o'rganildi va optimal sharoitlar aniqlandi.
2. Geteroyadroli pillared gillar (Fe-Zr, Fe-Al, Fe-Cr, Fe-Ni) ning sintezi va xossalari tizimli ravishda o'rganildi, ularning gomoyadrolilarga nisbatan yuqori termik barqarorligi va katalitik faolligi isbotlandi.

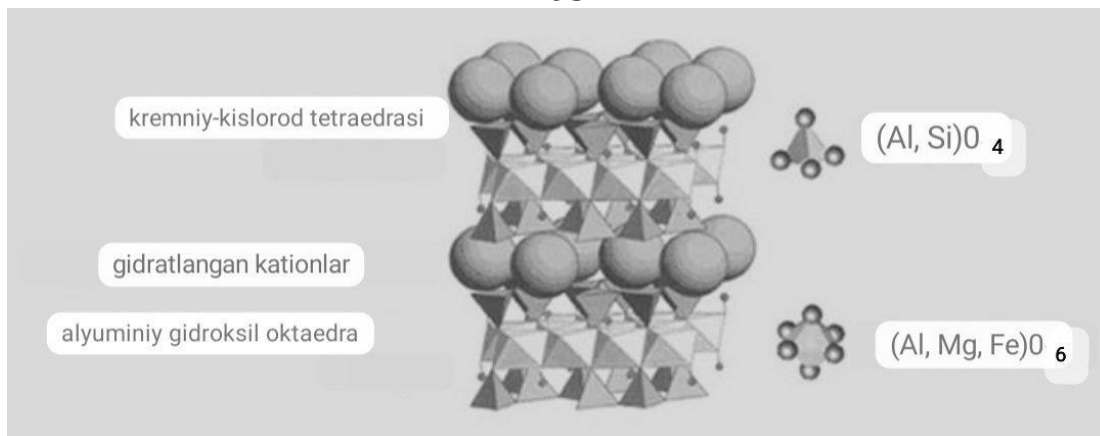
BENTONIT GILLARINING GEOKIMYOVIY XUSUSIYATLARI VA DUNYO MIQYOSIDAGI ZAHIRALARI

Bentonitning kelib chiqishi va geologik turlari

Bentonit – bu vulqon kulining suvli muhitda o‘zgarishi natijasida hosil bo‘lgan, tarkibida kamida 70% montmorillonit saqllovchi gilli mineraldir. Ushbu atama ilk bor 1898 yilda AQShning Vayoming shtatidagi Benton shahri yaqinida topilgan kon sharafiga qo‘yilgan [Grim, 1968]. Keyinchalik bu nom barcha shunday xususiyatlarga ega gillar uchun umumiy atamaga aylangan.

Bentonitlarning hosil bo‘lish jarayoni millionlab yillar davom etadigan murakkab geologik transformatsiyalarni o‘z ichiga oladi. Vulqon otilishlari natijasida atmosferaga ko‘tarilgan mayda dispersli kul zarralari shamol yoki suv orqali uzoq masofalarga tarqalib, dengiz, ko‘l yoki laguna havzalarida cho‘kadi. Ushbu cho‘kindi qatlamlar keyinchalik diagenез va gidrotermal jarayonlar ta’sirida kimyoviy o‘zgarishlarga uchraydi. Asosiy jarayon – vulqon shishasining (amorf faza) devitrifikatsiyasi hisoblanadi, bunda suv ishtirokida dala shpatlari va boshqa minerallar parchalanishi natijasida montmorillonit hosil bo‘ladi [Güven, 1988].

1-rasm



1-rasm bentonitning hosil bo‘lish sxemasi.

Genetik xususiyatlariga ko‘ra bentonitlar uch asosiy turga bo‘linadi:
Gidrotermal-metasomatik bentonitlar

Ushbu turdagi bentonitlar magmatik jinslarning (asosan, tuff, liparit, andezit) gidrotermal eritmalar ta’sirida o‘zgarishi natijasida hosil bo‘ladi. Issiq ($100\text{--}300^\circ\text{C}$) va kimyoviy faol suvli eritmalar jins tarkibidagi dala shpatlari va vulqon shishasini parchalab, ularning o‘rnida montmorillonit hosil qiladi. Bu jarayon ko‘pincha vulqon hududlarida, tektonik yoriqlar bo‘ylab sodir bo‘ladi.

Gidrotermal-metasomatik bentonitlar odatda yuqori sifatli natriyli bentonitlardir. Buning sababi, yuqori haroratli eritmalar Na^+ ionlarini faol ravishda olib kelishi va almashinuv kompleksida natriyning ustunlik qilishiga olib keladi. Dunyodagi eng mashhur natriyli bentonit konlari – AQShning Vayoming shtatidagi konlar (masalan, Upton, Greybull) shu turga kiradi [Murray, 2007]. Shuningdek, Gruziyadagi Askansk koni, Ozarbayjondagi Dash-Salaxlinsk koni ham gidrotermal-metasomatik yo‘l bilan hosil bo‘lgan.

Vulkanogen-cho‘kindi bentonitlar

Bu eng keng tarqalgan bentonit turi bo‘lib, vulqon kulining dengiz yoki chuchuk suv havzalarida cho‘kishi va suv bilan reaksiyaga kirishishi natijasida hosil bo‘ladi. Jarayon nisbatan past haroratlarda ($25-50^{\circ}\text{C}$) va uzoq geologik davrlar davomida sodir bo‘ladi. Vulqon kuli suvga tushganda, uning tarkibidagi amorf silika va alyuminiy birikmalari eriydi va gidrolizlanadi. Suvning kimyoviy tarkibi (ayniqsa, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ ionlarining mavjudligi) hosil bo‘layotgan montmorillonitning xususiyatlarini belgilaydi.

Dengiz suvida Mg^{2+} ionlarining ko‘pligi sababli, ko‘pincha magniya boy montmorillonitlar hosil bo‘ladi. Chuchuk suv havzalarida esa asosan kalsiyli bentonitlar shakllanadi. Vulkanogen-cho‘kindi bentonitlarning qalin qatlamlari AQSh (Vayoming), Yaponiya, Vengriya, Slovakiyada uchraydi [Bergaya et al., 2006].

Terrigen- va kolloid-cho‘kindi bentonitlar

Ushbu turdagi bentonitlar vulqon materialining bevosita ishtirokisiz, balki boshqa jinslarning nurashi natijasida hosil bo‘lgan kolloid zarrachalarning suv havzalarida cho‘kishi va diagenез jarayonida o‘zgarishi natijasida yuzaga keladi. Bunda allyuminiy va kremniyga boy kolloid zarrachalar kimyoviy o‘zgarishlarga uchrab, montmorillonitga aylanadi.

Bu bentonitlar odatda kamroq toza bo‘lib, tarkibida kvars, dala shpatlari, karbonatlar va boshqa qo‘shimcha minerallar ko‘p bo‘ladi. Ular asosan ishqoriy-yerli (kalsiy-magniyli) tarkibga ega. Rossiya, Ukraina, Belarus va Markaziy Osiyodagi ko‘plab konlar (masalan, Nurlat, Biklyan, Sharshar, Tagan) shu turga mansub [Sabitov va boshq., 2015; Panasyugin va boshq., 2022].

Bentonitlarning genetik turlarining qiyosiy tahlili

Xususiyat	Gidrotermal-metasomatik	Vulkanogen-choʻkindi	Terrigen-choʻkindi
Hosil boʻlish harorati	100-300°C	20-60°C	10-30°C
Suv muhiti	Gidrotermal eritmalar	Dengiz/koʻl havzalari	Koʻl/laguna havzalari
Asosiy almashinuvchi kation	Na ⁺	Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Na ⁺	Ca ²⁺ , Mg ²⁺
Montmorillonit miqdori	80-95%	70-90%	50-80%
Tozalik darajasi	Yuqori	Oʻrtacha	Past

Misol konlar Vayoming (AQSh), Askansk (Gruziya) Milos oroli (Gretsiya) Nurlat (Rossiya), Sharshar (Tojikiston)

Mineralogik tarkibi:

Montmorillonit – asosiy mineral

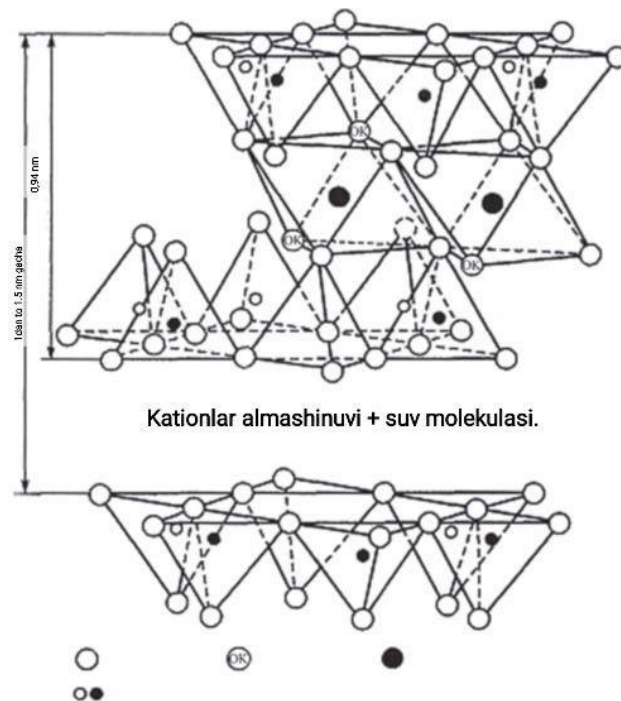
Montmorillonit smektitlar guruhiga mansub boʻlib, 2:1 tipidagi qatlamli silikatlar sinfiga kiradi. Uning kristall tuzilishi 1963 yilda Hofmann, Endell va Wilm tomonidan aniqlangan va keyinchalik Marshall, Maegdefrau va Hendricks tomonidan takomillashtirilgan [Grim, 1968].

Montmorillonitning strukturaviy birligi – uch qatlamli paketdan iborat. Har bir paket quyidagilardan tashkil topgan:

- Ikki tetraedrik qatlam: Silikat tetraedrlaridan (SiO₄) tashkil topgan. Tetraedrlarning markazida Si⁴⁺ joylashgan boʻlib, ularning bir qismi Al³⁺ bilan izomorf almashgan boʻlishi mumkin.

- Bitta oktaedrik qatlam: Tetraedrik qatlamlar orasida joylashgan boʻlib, alyuminiy (dioktaedrik) yoki magniy (trioktaedrik) atomlaridan tashkil topgan. Alyuminiy oʻrnini Fe²⁺, Fe³⁺, Mg²⁺, Zn²⁺ va boshqa kationlar egallashi mumkin.

Izomorf almashinish natijasida tetraedrik va oktaedrik qatlamlarda manfiy zaryad hosil boʻladi. Bu zaryadni neytrallash uchun paketlar orasidagi boʻshliqda (interlayer) gidratlangan kationlar (Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) joylashadi. Aynan shu tuzilish xususiyati bentonitlarning ion almashinish va suvda shishish qobiliyatini belgilaydi.



2-rasm. Montmorillonitning kristall tuzilishi sxemasi

2-rasmda montmorillonitning 3D strukturasi tasvirlangan: tetraedrik qatlamlar, oktaedrik qatlam va interlayerda joylashgan kationlar ko'rsatilgan.

Montmorillonitning umumiy formulasi quyidagicha ifodalanadi:



Bu formuladan ko'rinadiki, montmorillonit tarkibi juda o'zgaruvchan. n – interlayerdagi suv molekulalarining soni (odatda 2 dan 8 gacha), bu atmosfera namligiga bog'liq.

Montmorillonitning asosiy turlari

Izomorf almashinish xususiyatiga ko'ra montmorillonitlar ikki asosiy turga bo'linadi:

1. Dioktaedrik montmorillonitlar: Oktaedrik qatlamda asosan alyuminiy joylashgan. Bu turga монтмориллонит (Al-montmorillonit) va нонтронит (Fe-montmorillonit) kiradi.

2. Trioktaedrik montmorillonitlar: Oktaedrik qatlamda asosan magniy joylashgan. Bunga сапонит (Mg-montmorillonit) misol bo'ladi.

Sanoat ahamiyatiga ega bentonitlarning aksariyati dioktaedrik turga mansub. Nontronit odatda temirga boy jinslarning parchalanishidan hosil bo'ladi va o'ziga xos yashil-jigarrang rangga ega.

Montmorillonitga hamroh minerallar

Tabiiy bentonitlar hech qachon 100% montmorillonitdan iborat emas. Ularning tarkibida hosil bo'lish jarayoniga va konning geologik sharoitiga

qarab turli qo'shimcha minerallar uchraydi. Bu minerallarni bir necha guruhga bo'lish mumkin:

Erkin kremniy minerallari

Bu eng keng tarqalgan qo'shimcha minerallar bo'lib, bentonit tarkibida 5% dan 30% gacha bo'lishi mumkin.

Kvars (SiO_2): Eng ko'p uchraydigan qo'shimcha mineral. Mayda donachalar shaklida bo'lib, bentonitning abraziv xususiyatlarini oshiradi.

Kristobalit (SiO_2): Vulqon kulining devitrifikatsiyasi natijasida hosil bo'lgan yuqori haroratli kremniy modifikatsiyasi. Bentonit tarkibidagi kristobalit miqdori uning sorbsion xususiyatlariga ta'sir qiladi.

Opal ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$): Amorf kremniy shakli bo'lib, suv bilan bog'langan. Ba'zi bentonitlarda opal miqdori sezilarli bo'lishi mumkin.

Boshqa silikat minerallari

Dala shpatlari: Asosan plagioklazlar (albit – $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) va kaliyli dala shpatlari (ortoklaz, mikroklin – KAlSi_3O_8) uchraydi. Ular dastlabki vulqon materialining qoldiqlari hisoblanadi.

Slyudalar: Muskovit ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) va biotit ($\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) bentonitlarda kam miqdorda uchraydi.

Kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$): Kaolinit gillarining asosiy minerali bo'lib, ayrim bentonitlarda 10-20% gacha bo'lishi mumkin. Kaolinit mavjudligi bentonitning plastikligini va bog'lovchilik xususiyatlarini o'zgartiradi.

Illit ($\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$): Smektitlarning illitga o'tish bosqichidagi mineral. Ko'plab qadimgi bentonitlarda illit miqdori yuqori bo'ladi.

Xlorit: $(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})_6$ formulali mineral, metamorfik va gidrotermal o'zgarishlarda hosil bo'ladi.

Zeolitlar: Klinoptilolit, mordenit kabi zeolit minerallari ba'zi bentonitlarda uchraydi. Ular ham vulqon materialining o'zgarishi mahsulotidir.

Karbonatlar va sulfatlar

Kaltsit (CaCO_3): Eng keng tarqalgan karbonat minerali. Bentonit tarkibidagi kaltsit miqdori uning kislotali muhitga chidamliligini pasaytiradi.

Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$): Magniyli karbonat, ba'zi bentonitlarda uchraydi.

Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): Sulfat minerali, asosan quruq iqlim sharoitida hosil bo'lgan bentonitlarda uchraydi.

Temir birikmalari

Gematit (Fe_2O_3): Bentonitga qizg'ish-jigarrang rang beradi.

Getit (α -FeOOH): Temir gidroksidi, sariq-jigarrang rang beradi.

Pirit (FeS_2): Temir sulfidi, ba'zi bentonitlarda mayda kristallar shaklida uchraydi.

Organik moddalar

Ba'zi bentonitlar, ayniqsa, qadimgi cho'kindi qatlamlardan olinganlari, organik moddalarni (1-3% gacha) o'z ichiga olishi mumkin.

Mineralogik tarkibning bentonit xossalriga ta'siri

Bentonitning texnologik xususiyatlari uning mineralogik tarkibiga bevosita bog'liq:

1. Montmorillonit miqdori: Bentonitning sifati montmorillonit miqdori bilan belgilanadi. Sanoatda ishlatiladigan bentonitlar kamida 60-70% montmorillonit saqlashi kerak [Murray, 2007]. Montmorillonit miqdori past bo'lgan gillar "bentonitga o'xshash" deb ataladi va ularning qo'llanish doirasi cheklangan.

2. Kvars va boshqa abraziv minerallar: Kvars miqdori yuqori bo'lgan bentonitlar burg'ulash eritmalari va qog'oz ishlab chiqarishda yaroqsiz, chunki abraziv zarrachalar uskunalarni tez yemiradi.

3. Karbonatlar: Kaltsit va dolomit kislotali muhitda eriydi va ko'piklanadi. Bu xususiyat neft sanoati va katalizda salbiy ta'sir ko'rsatadi.

4. Temir birikmalari: Temir oksidlari bentonitning rangini belgilaydi va katalitik xususiyatlarga ta'sir qiladi. Ba'zi hollarda (masalan, yog'larni oqartirishda) temir miqdorining yuqori bo'lishi istalmagan, chunki u yog'ning oksidlanishiga sabab bo'lishi mumkin.

5. Zeolitlar: Zeolit mavjudligi bentonitning ion almashinish va adsorbsion xususiyatlarini kompleks tarzda o'zgartirishi mumkin.

2-jadval. Bentonitlarning mineralogik tarkibi (mass. %)

Kon	Mont morill onit	Kvars	Dala shpati	Karb onatlar	Kaoli nit	Bosh qalar
Vayoming (AQSh)	85-95	2-5	1-3	<1	<1	2-5
Askansk (Gruziya)	87-95	1-3	2-5	<1	3-8	2-4
Milos oroli (Gretsiya)	84-93	2-5	1-3	<1	5-10	2-4
Dash-Salaxlinsk (Ozarbayjon)	80-90	3-7	3-5	<1	6-12	2-5
Tixmenevsk (Saxalin)	75-90	3-8	2-5	<1	5-10	3-6
Nurlat (Rossiya)	60-70	10-15	5-8	2-5	5-10	5-10
Sharshar (Tojikiston)	60-65	15-20	5-7	2-3	5-8	5-10
Tagan (Qozog'iston)	65-70	12-18	4-6	3-5	3-5	5-8

Kimyoviy tarkibi

Bentonitlarning kimyoviy tarkibi ularning mineralogik tarkibining aksi bo'lib, asosan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O va K_2O oksidlaridan iborat. Suv (H_2O) ikki shaklda bo'ladi: adsorbsion suv va kristall panjaradagi gidroksil guruhlari (OH) tarkibidagi konstitutsion suv.

Kremniy dioksid (SiO_2)

SiO_2 – bentonit tarkibidagi asosiy komponent bo'lib, uning miqdori odatda 50-70% oralig'ida bo'ladi. Kremniy asosan tetraedrik qatlamlarda Si^{4+} sifatida joylashgan. SiO_2 ning bir qismi kvars va opal shaklida ham mavjud. SiO_2 miqdori bentonitning kislotaliligi va mexanik mustahkamligiga ta'sir qiladi.

Alyuminiy oksidi (Al_2O_3)

Al_2O_3 miqdori 12-25% oralig'ida bo'lib, alyuminiy asosan oktaedrik qatlamlarda joylashgan. Al_2O_3 miqdori montmorillonitning dioktaedrik xususiyatini belgilaydi va uning kislotali muhitga chidamliligiga ta'sir qiladi.

Temir oksidi (Fe_2O_3 va FeO)

Temir oksidlarining umumiy miqdori 1-10% oralig'ida o'zgaradi. Temir asosan oktaedrik qatlamda Al^{3+} o'rnini egallaydi. Temirning oksidlanish darajasi (Fe^{3+} yoki Fe^{2+}) bentonitning rangini va katalitik xususiyatlarini belgilaydi. Yuqori temir miqdori bentonitga qizg'ish-jigarrang rang beradi.

Magniy oksidi (MgO)

MgO miqdori 1-6% oralig'ida bo'lib, magniy oktaedrik qatlamda Al^{3+} o'rnini egallaydi. Magniy miqdorining ortishi trioktaedrik xususiyatni kuchaytiradi. MgO bentonitning suvda shishish qobiliyatiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

Ishqoriy va ishqoriy-yer metall oksidlari (CaO , MgO , Na_2O , K_2O)

Bu oksidlar almashinuvchi kationlar sifatida interlayerda joylashgan. Ularning nisbati bentonitning turini (natriyli yoki kalsiyli) belgilaydi:

Na_2O : Natriyli bentonitlarda Na_2O miqdori 2-4% gacha yetadi.

CaO : Kalsiyli bentonitlarda CaO miqdori 3-8% bo'lishi mumkin.

K_2O : Kaliy miqdori odatda 1% dan kam, illit va slyudalar mavjud bo'lganda ortadi.

MgO : Yuqorida aytib o'tilganidek, oktaedrik qatlamda va qisman interlayerda bo'ladi.

Boshqa oksidlar

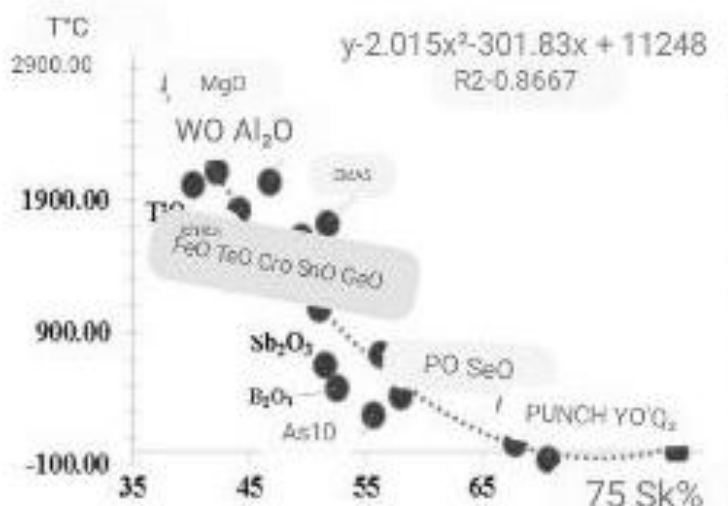
TiO_2 : 0.1-1.5% gacha, rutil va anatas minerallari shaklida.

MnO : 0.1% gacha.

P₂O₅: 0.5% gacha, apatit qo‘shimchalari shaklida.

SO₃: Sulfatlar shaklida, 0.5% gacha.

Asosiy oksidlar va ularning roli



3-rasm. Oksidlarning erish haroratining (Taz, °C) E-O bog‘lanishning Ck ga bog‘liqligi. Oksidlarning gil, °C ning E-O bog‘lanishining kovalentlik darajasiga bog‘liqligi

Turli konlardagi bentonitlarning kimyoviy tarkibi

Quyidagi jadvalda dunyodagi eng mashhur bentonit konlarining kimyoviy tahlil natijalari keltirilgan. Ma'lumotlar turli adabiyot manbalaridan olingan [Grim, 1968; Murray, 2007; Panasyugin va boshq., 2022; Sabitov va boshq., 2015; Donayev va boshq., 2025].

3-jadval

Bentonitlarning kimyoviy tarkibi (mass. %)

Kon / Manba	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	LOI *
Natriyli bentonitlar									
Vayoming (AQSh)	62.9	21.3	3.7	2.3	0.8	2.6	0.4	0.2	6.0
Kolony (AQSh)	63.5	21.8	3.9	2.1	0.5	2.8	0.3	0.1	5.5
Askansk (Gruziya)	59.5	18.6	3.5	4.7	1.5	2.4	1.3	0.3	8.2
Dash-Salaxlinsk (Ozarbayjon)	58.2	17.5	5.8	3.9	2.1	3.2	1.5	0.4	7.4
Kalsiyli bentonitlar									

Milos oroli (Gretsiya)	59.5	19.5	3.4	3.8	1.9	2.7	0.9	0.3	8.0
Magadi (Keniya)	60.8	18.2	5.1	2.5	4.2	0.3	1.1	0.5	7.3
Nurlat (Rossiya)	56.3	21.6	7.6	2.9	2.2	1.0	1.4	0.3	5.6
Biklyan (Rossiya)	56.9	21.3	8.9	2.0	1.3	0.5	1.4	0.3	7.4
Markaziy Osiyo bentonitlari									
Sharshar (Tojikiston)	60.8	13.9	4.1	2.3	0.9	0.8	2.3	2.4	5.8
Tagan (Qozog'iston)	57.8	16.7	3.4	1.6	3.4	2.6	1.0	0.3	8.5
O'zbekiston konlari	56-59	16- 18	4-5	3-4	2-4	2-3	1-2	0.3- 0.5	10- 12

*LOI (Loss on Ignition) – qizdirishdagi yo‘qotish (asosan suv va karbonatlar)

**O‘rtacha qiymatlar (aniq kon ma'lumotlari yetarli emas)

Kimyoviy tarkib va bentonit xossalari o‘rtasidagi bog‘liqlik

Kimyoviy tarkib bentonitning fizik-kimyoviy xossalarini belgilaydi:

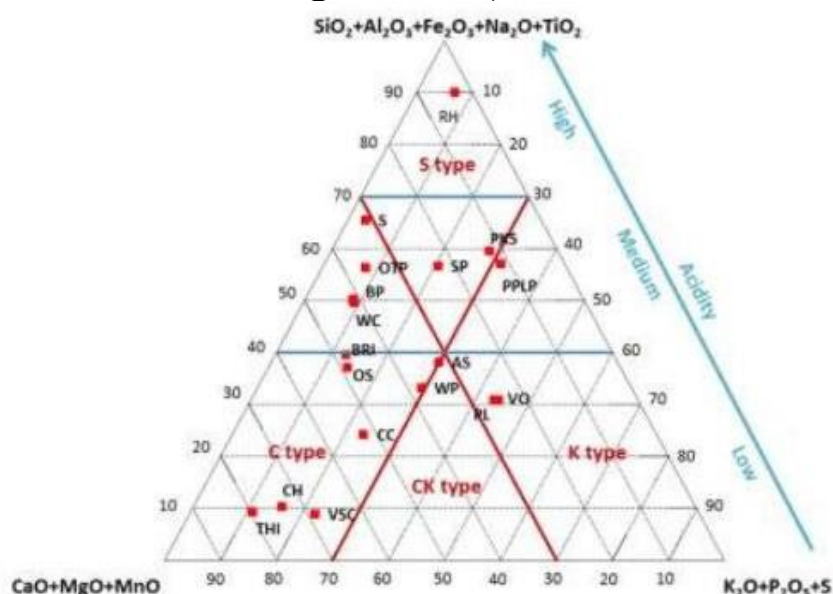
1. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nisbati: Bu nisbat montmorillonitning tuzilish xususiyatlarini ko‘rsatadi. Sof montmorillonit uchun $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nisbati taxminan 4 ga teng. Agar nisbat katta bo‘lsa, erkin kremniy (kvars, opal) mavjudligidan dalolat beradi. Agar nisbat kichik bo‘lsa, alyuminiyga boy bo‘lmagan minerallar (masalan, kaolinit) qo‘shimchalari bo‘lishi mumkin.

2. $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ nisbati: Bu nisbat bentonitning turini belgilaydi. $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO} > 1$ bo‘lsa – natriyli bentonit, < 1 bo‘lsa – kalsiyli bentonit.

3. Fe_2O_3 miqdori: Yuqori temir miqdori (5% dan yuqori) bentonitni yog‘larni oqartirishda samarali qiladi, lekin keramika va chinni ishlab chiqarishda istalmagan.

4. Karbonatlar (CO_2): Kimyoviy tahlilda CO_2 miqdori yuqori bo‘lsa, karbonat minerallari (kaltsit, dolomit) mavjudligini ko‘rsatadi. Bu bentonitning kislotali muhitga chidamliligini pasaytiradi.

4-rasm. Turli bentonitlarning kimyoviy tarkibi (oksid diagrammasi)

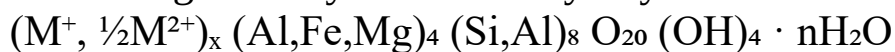


4-rasmda $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ uchburchak diagrammasida turli bentonitlarning tarkibini joylashuvi ko'rsatilgan.

Kristallokimyoviy formula va zaryad xususiyatlari

Montmorillonitning aniq kimyoviy formulasini aniqlash murakkab masala, chunki izomorf almashinishlar juda xilma-xil. Odatda, formula 22 ta kislorod atomiga (yoki 11 ta kislorodga) nisbatan hisoblanadi [Grim, 1968].

Montmorillonitning umumiy kristallokimyoviy formulasi:



Bu yerda:

$\text{M}^+, \frac{1}{2}\text{M}^{2+}$ – interlayerdagi almashinuvchi kationlar ($\text{Na}^+, \text{K}^+, \frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}, \frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}$)

x – almashinuvchi kationlarning soni (zaryad miqdori, odatda 0.4 dan 1.2 gacha)

Al, Fe, Mg – oktaedrik qatlamdagi kationlar

Si, Al – tetraedrik qatlamdagi kationlar

$n\text{H}_2\text{O}$ – interlayerdagi suv molekullari soni

Izomorf almashinish turlari

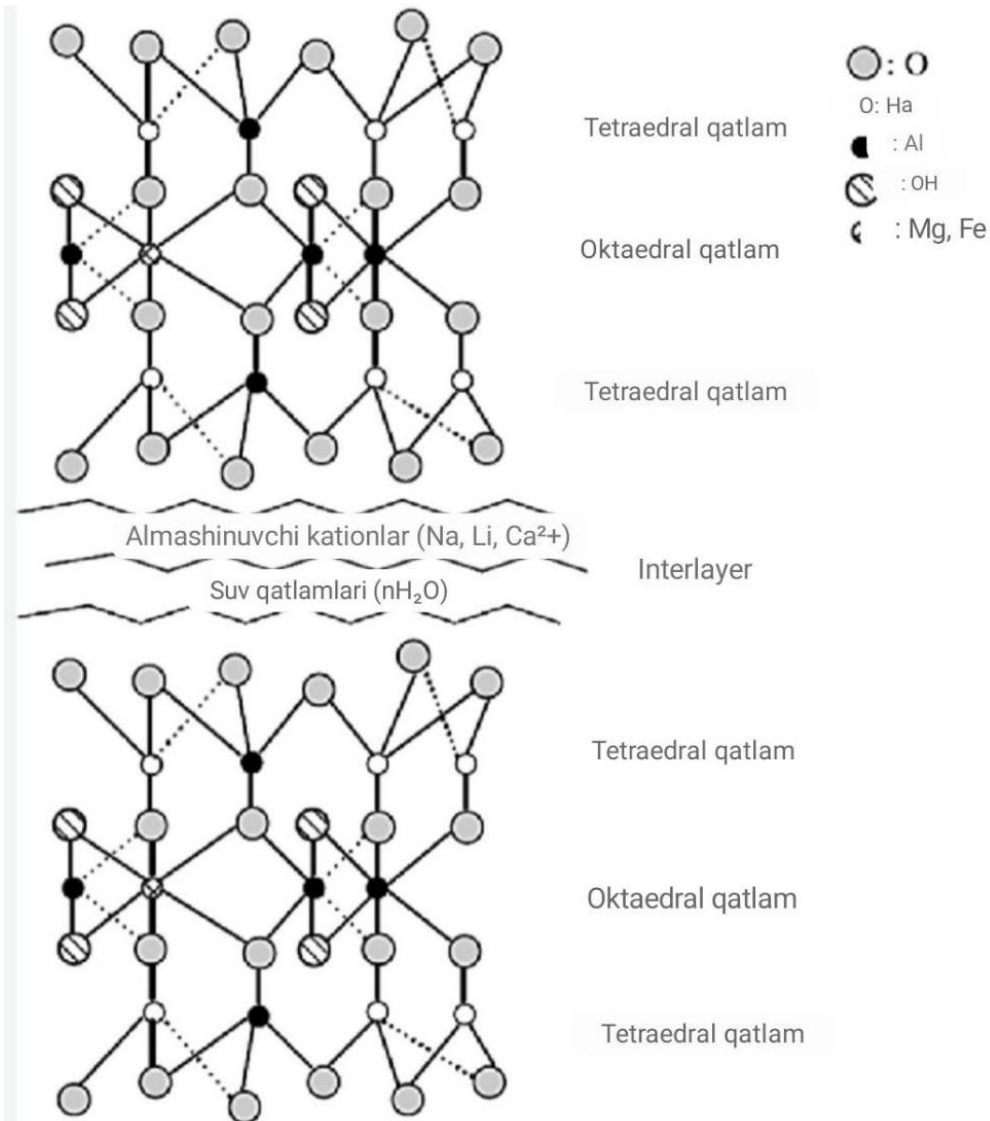
Montmorillonitda uch xil izomorf almashinish kuzatiladi:

1. Tetraedrik almashinish: Si^{4+} ning bir qismi Al^{3+} bilan almashadi. Bu tetraedrik qatlamda manfiy zaryad hosil qiladi. Bunday almashinish ko'proq beydellitlarda uchraydi.

2. Oktaedrik almashinish: Oktaedrik qatlamdagi Al^{3+} ning bir qismi Mg^{2+} , Fe^{2+} yoki Fe^{3+} bilan almashadi. Bu eng keng tarqalgan almashinish turi bo'lib, oktaedrik qatlamda manfiy zaryad hosil qiladi.

3. Oktaedrik vakansiyalar: Dioktaedrik montmorillonitlarda oktaedrik pozitsiyalarning 2/3 qismi to'ldirilgan, 1/3 qismi bo'sh (vakant) bo'ladi. Bu ham panjarada ma'lum zaryad taqsimotini keltirib chiqaradi.

5-rasm. Montmorillonitda izomorf almashinish sxemasi



5-rasmda tetraedrik va oktaedrik qatlamlarda Si, Al, Mg, Fe ionlarining joylashuvi va almashinishi ko'rsatilgan.

Qatlam zaryadi va uning ahamiyati.

Izomorf almashinish natijasida montmorillonit paketlarida manfiy zaryad hosil bo'ladi. Bu zaryadning miqdori qatlam zaryadi (layer charge) deb ataladi va u elementar hujayra (22 ta kislorod) uchun 0.4 dan 1.2 gacha elektron birlikda o'zgaradi [Bergaya et al., 2006].

Qatlam zaryadining kattaligi montmorillonit xossalriga hal qiluvchi ta'sir ko'rsatadi:

0.4-0.6: Past zaryadli montmorillonitlar. Suvda yaxshi shishadi, yuqori kolloid xususiyatlarga ega.

0.6-0.9: O'rtacha zaryadli montmorillonitlar. Eng keng tarqalgan tur.

0.9-1.2: Yuqori zaryadli montmorillonitlar. Suvda kam shishadi, yuqori KAS ga ega, organik moddalar bilan oson kompleks hosil qiladi.

Zaryadning joylashuvi ham muhim:

Tetraedrik zaryad: Tetraedrik qatlamda joylashgan zaryad interlayer kationlari bilan kuchliroq bog'lanadi va gilning organik moddalarga yaqinligini oshiradi.

Oktaedrik zaryad: Interlayer kationlari bilan zaifroq bog'lanadi, bu esa gidratatsiya va shishishni osonlashtiradi.

Turli konlardan olingan montmorillonitlarning kristallokimyoviy formulalari

Tadqiqotlar asosida turli konlardan olingan montmorillonitlarning formulalarini keltiramiz:

4-jadval

Montmorillonitlarning kristallokimyoviy formulalari

Kon	Formula	Qatlam zaryadi	Izoh
Vayoming (AQSh)	$(Ca_{0.12}Na_{0.32}K_{0.05})(Al_{3.01}Fe_{0.41}Mg_{0.48})(Si_{7.72}Al_{0.28})O_{20}(OH)_4$	0.68	Natriyli, tetraedrik zaryad past
Askansk (Gruziya)	$(Ca_{0.25}Na_{0.20}K_{0.10})(Al_{2.90}Fe_{0.50}Mg_{0.60})(Si_{7.65}Al_{0.35})O_{20}(OH)_4$	0.80	O'rtacha zaryadli
Milos oroli (Gretsiya)	$(Ca_{0.30}Na_{0.15}K_{0.08})(Al_{2.85}Fe_{0.35}Mg_{0.80})(Si_{7.80}Al_{0.20})O_{20}(OH)_4$	0.83	Kalsiyli
Sharshar (Tojikiston)	$(Na_{0.20}K_{0.15}Ca_{0.10})(Al_{2.70}Fe_{0.50}Mg_{0.80})(Si_{7.90}Al_{0.10})O_{20}(OH)_4$	0.55	O'rtacha zaryadli
Tagan (Qozog'iston)	$(Na_{0.30}K_{0.10}Ca_{0.15})(Al_{2.80}Fe_{0.40}Mg_{0.80})(Si_{7.85}Al_{0.15})O_{20}(OH)_4$	0.70	O'rtacha zaryadli

Bentonitlarning tasnifi

Bentonitlarni tasniflashning bir necha xil usullari mavjud bo'lib, ular mineralogik, kimyoviy va texnologik xususiyatlarga asoslanadi.

Almashinuvchi kationlar tarkibiga ko'ra tasnif

Bu eng keng tarqalgan tasnif bo'lib, bentonitlarning amaliy qo'llanilishida hal qiluvchi ahamiyatga ega. Almashinuvchi kationlar tarkibiga ko'ra bentonitlar uch asosiy turga bo'linadi [Güven, 1988; Murray, 2007]:

Natriyli bentonitlar (Na-bentonitlar)

Almashinuv kompleksida asosan natriy ionlari (Na^+) ustunlik qiladi. Natriyli bentonitlar yuqori shishish qobiliyati (suvda hajmi 15-20 marta ortadi), yuqori kolloidlik va yuqori yopishqoqlik bilan ajralib turadi. Ular suvda oson disperslanadi va tiksotrop gellar hosil qiladi. Dunyoda natriyli bentonitlar kam uchraydi, eng mashhur konlari AQShning Vayoming shtatida joylashgan.

Natriyli bentonitlarning asosiy xususiyatlari:

Suvda shishish darajasi: 15-20 marta

pH: 8.5-10.5

Kation almashinish sig'imi: 80-120 mg-ekv/100g

Asosiy qo'llanilishi: burg'ilash eritmalari, temir rudasini pelletlashtirish, gidroizolyatsiya

Kalsiyli bentonitlar (Ca-bentonitlar)

Almashinuv kompleksida asosan kaltsiy (Ca^{2+}) va magniy (Mg^{2+}) ionlari ustunlik qiladi. Kalsiyli bentonitlar natriylarga nisbatan kam shishadi (3-6 marta), suvda yomon disperslanadi va past yopishqoqlikka ega. Ular keng tarqalgan bo'lib, Rossiya, Ukraina, Markaziy Osiyo va Yevropadagi ko'plab konlar kalsiyli bentonitlardir.

Kalsiyli bentonitlarning asosiy xususullari:

Suvda shishish darajasi: 3-6 marta

pH: 6.5-8.5

Kation almashinish sig'imi: 100-150 mg-ekv/100g

Asosiy qo'llanilishi: sorbentlar, katalizatorlar, oqartiruvchi gillar, qishloq xo'jaligi

Aralash tipdagi bentonitlar

Almashinuv kompleksida Na^+ va Ca^{2+} ionlari birgalikda uchraydi. Ular oraliq xususiyatlarga ega bo'lib, ko'pincha soda bilan aktivatsiyadan so'ng natriyli bentonitlarga o'xshash xossalar namoyon qiladi.

5-jadval

Natriyli va kalsiyli bentonitlarning qiyosiy xarakteristikasi

Xususiyat	Natriyli bentonit	Kalsiyli bentonit
Almashinuvchi asosiy kation	Na ⁺	Ca ²⁺ , Mg ²⁺
Suvda shishish darajasi	15-20 marta	3-6 marta
Disperslanish	Oson disperslanadi	Zarrachalar agregat holida qoladi
pH (10% suspenziya)	8.5-10.5	6.5-8.5
Yopishqoqlik	Yuqori	Past
Kolloidlik	Yuqori	O'rtacha
Tiksotropiya	Kuchli ifodalangan	Kuchsiz ifodalangan
KAS (mg-ekv/100g)	80-120	100-150
Suv o'tkazuvchanlik	Juda past	O'rtacha
Issiqlik barqarorligi	Yuqori	O'rtacha
Tarqalishi	Kam uchraydi (AQSh, Gruziya, Turkiya)	Keng tarqalgan
Soda bilan aktivatsiya	Kerak emas	Kerak bo'ladi

Montmorillonit miqdoriga ko'ra tasnif

Sanoatda bentonitlar montmorillonit miqdoriga qarab ham tasniflanadi [Sabitov va boshq., 2015]:

Yuqori sifatli bentonitlar (montmorillonit >80%)

Bu guruhga Vayoming, Askansk, Milos oroli bentonitlari kiradi. Ular deyarli hech qanday qo'shimcha minerallarsiz, yuqori texnologik xususiyatlarga ega.

O'rtacha sifatli bentonitlar (montmorillonit 60-80%)

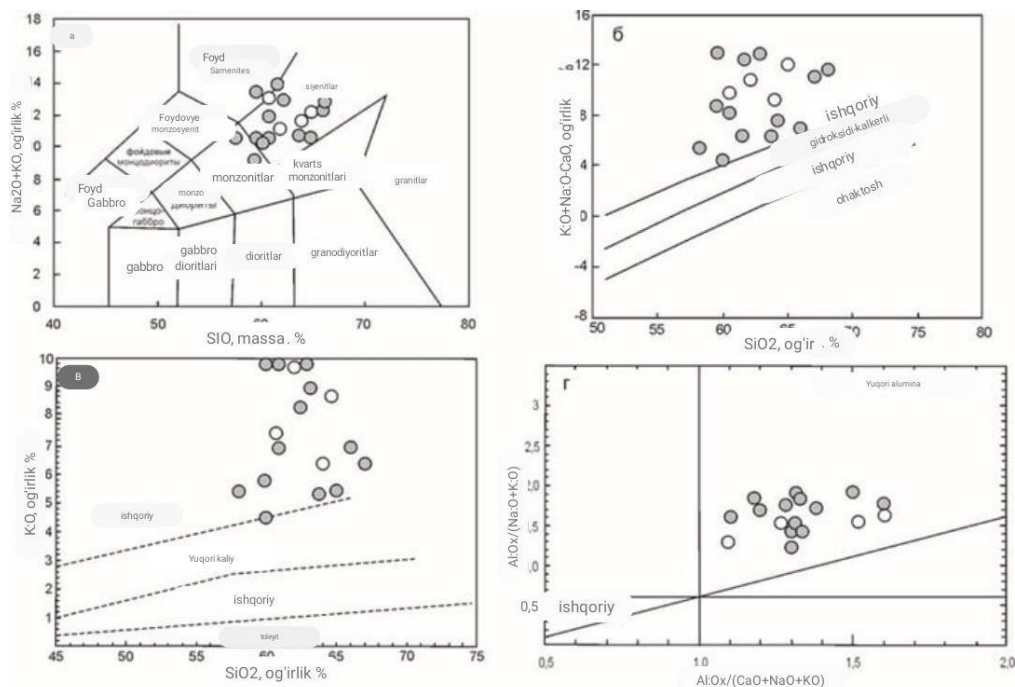
Bu eng keng tarqalgan guruh. Tarkibida 20-40% gacha qo'shimcha minerallar (kvars, dala shpati, karbonatlar) bo'ladi. Soda bilan aktivatsiyadan so'ng ko'pgina sanoat tarmoqlarida ishlatilishi mumkin.

Past sifatli bentonitlar (montmorillonit <60%)

Bu gillar "bentonitga o'xshash" deb ataladi. Ular cheklangan miqdorda, asosan qurilish materiallari (keramzit) ishlab chiqarishda ishlatiladi.

Kimyoviy tarkibiga ko'ra tasnif

Ayrim tadqiqotchilar bentonitlarni $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nisbatiga va ishqoriylik moduliga $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ asosida tasniflaydilar [Panasyugin va boshq., 2022].



6-rasm. Bentonitlarni $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ - $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ diagrammasida tasnifi. Turli bentonitlarning diagrammadagi o‘rni ko‘rsatilgan.

Dunyo bo‘yicha bentonit zahirolari va qazib olish dinamikasi

Global zahiralar

Dunyo bo‘yicha bentonitning umumiy zahirolari haqida aniq ma'lumotlar mavjud emas, chunki yangi konlar doimiy ravishda topilmoqda. Turli manbalarga ko‘ra, jahondagi isbotlangan bentonit zahirolari 15-20 milliard tonnani tashkil etadi [USGS, 2023; Murray, 2007].

6-jadval

Asosiy davlatlarning isbotlangan bentonit zahirolari (million tonna)

Davlat	Zahira (mln. tonna)	Ulushi, %	Asosiy konlari
AQSh	~5000	33.3	Vayoming, Montana Texas
Xitoy	~3000	20.0	Sinyan, Xebey
Hindiston	583 (2015 y.)	3.9	Rajastan, Gujarat, Jammu Kashmir
Rossiya	335	2.2	Nurlat, Biklyan, Tarasovsk
Turkiya	250	1.7	Ankara, Çankırı

Gretsiya	150	1.0	Milos oroli
Ukraina	120	0.8	Cherkassi
Qozog‘iston	~100	0.7	Tagan
O‘zbekiston	~50*	0.3	Navoiy, Qoraqalpog‘iston
Tojikiston	~30*	0.2	Sharshar, Dashtibed
Boshqa davlatlar	~5400	36.0	
JAMI	~15000	100	

Asosiy konlarning qisqacha tavsifi

AQSh konlari

AQSh dunyodagi eng yirik bentonit zahiralariga ega. Asosiy qazib olish Vayoming shtatida amalga oshiriladi. Vayoming bentonitlari yuqori sifatli natriyli bentonitlar bo‘lib, ularning tarkibida 85-95% montmorillonit mavjud [Grim, 1968]. Bu konlarda qazib olish ochiq usulda olib boriladi va yillik ishlab chiqarish 4-5 million tonnani tashkil etadi.

Hindiston konlari

Hindiston Kon byurosining 2015 yilgi ma'lumotlariga ko‘ra, mamlakatdagi bentonit zahiralar 583 million tonnani tashkil etadi [Indira, 2015]. Asosiy zahiralar Rajastan shtatida (428 mln. tonna) va Gujarat shtatida (144 mln. tonna) joylashgan. Rajastan bentonitlari asosan natriyli bo‘lib, quyish sanoatida ishlatiladi.

Turkiya konlari

Turkiya so‘nggi yillarda bentonit ishlab chiqarishni keskin oshirdi. Mamlakatning eng yirik konlari Ankara va Çankırı viloyatlarida joylashgan. Tokat/Reşadiye koni Turkiyadagi eng yirik natriyli bentonit konlaridan biri bo‘lib, zahirasi 200 million tonnaga baholanmoqda [Togan, 2006].

Rossiya konlari

Rossianing isbotlangan bentonit zahiralar 335 million tonnani tashkil qiladi [Sabitov va boshq., 2015]. Asosiy konlar Tatarston (Nurlat, Biklyan), Rostov viloyati (Tarasovsk) va Kurgan viloyatida joylashgan. Rossiya bentonitlari asosan kalsiyli bo‘lib, soda bilan aktivatsiyani talab qiladi.

Gretsiya konlari

Gretsiyaning Milos oroli bentonitlari dunyodagi eng sifatli kalsiyli bentonitlardan hisoblanadi. Ularning tarkibida 84-93% montmorillonit mavjud [Bergaya et al., 2006].

Global qazib olish dinamikasi

Dunyo bo‘yicha yillik bentonit qazib olish hajmi 20-22 million tonna atrofida. So‘nggi 30 yil ichida qazib olish hajmi sezilarli darajada oshgan.

Asosiy davlatlarning bentonit qazib olish hajmi (ming tonna)

Davlat	2000	2005	2010	2015	2020	2023
AQSh	4050	4300	4250	4320	4400	4500
Xitoy	2000	2500	3200	3500	3800	4000
Turkiya	500	800	1000	3135	3500	3700
Hindiston	600	900	1200	1466	1800	2000
Gretsiya	800	950	1000	1150	1200	1300
Rossiya	300	400	550	700	850	900
Meksika	400	450	470	470	500	520
Braziliya	250	300	350	400	450	480
Boshqalar	2100	2500	2800	3000	3200	3400
JAMI	11000	13100	14820	17141	19700	20800

Tahlil:

AQSh uzoq yillar davomida yetakchi bo'lib kelmoqda, yillik qazib olish 4-4.5 million tonna atrofida barqaror.

Xitoy jadal rivojlanmoqda va 2020-yillarda AQShga yaqinlashdi.

Turkiya eng keskin o'sishni ko'rsatdi – 2000-2023 yillarda qazib olish 7 barobar oshdi.

Hindiston ham sezilarli o'sishga erishdi (2000 yilga nisbatan 3 barobar).

Rossiya qazib olishi asta-sekin o'sib bormoqda, 2023 yilda 900 ming tonnaga yetishi kutilmoqda.

MDH davlatlaridagi bentonit zahiralari

Rossiya

Rossiya Federatsiyasida 50 dan ortiq bentonit konlari aniqlangan, ammo faqat 15 tasi sanoat miqyosida qazib olinmoqda. Davlat balansida 80 ta kon ro'yxatga olingan [Belousov va Krupskaya, 2019].

Asosiy konlar:

Nurlat koni (Tatarston): Zahirasi 44.6 million tonna. Kalsiyli bentonit, montmorillonit miqdori 60-70%.

Biklyan koni (Tatarston): Zahirasi ~30 million tonna.

Tarasovsk koni (Rostov viloyati): Yirik sanoat koni, yillik qazib olish ~300 ming tonna.

Zyryansk koni (Kurgan viloyati): Natriy-kalsiyli bentonit.

Tixmenevsk koni (Saxalin oroli): Natriyli bentonit, yuqori sifatli.



7-rasmda Rossiya xaritasi va konlarning joylashuvi ko'rsatilgan.

8-jadval

Rossiya bentonit konlarining xarakteristikasi

Kon	Joylashuv i	Genetik turi	Bentoni t turi	Montmorilloni t, %	Zahira , mln. tonna
Nurlat	Tatarston	Terrigen- cho'kindi	Ca	60-70	44.6
Biklyan	Tatarston	Terrigen- cho'kindi	Ca	60-70	30.2
Tarasovsk	Rostov vil	Vulkanogen -cho'kindi	Ca-Na	65-75	22.5
Zyryansk	Kurgan vil	Gidrotermal	Na-Ca	70-80	18.7
Tixmenevs k	Saxalin	Gidrotermal	Na	75-90	12.3
Polyana	Belgorod vil	Gidrotermal	Na	75-85	8.5

Ukraina

Ukrainada 30 dan ortiq bentonit konlari aniqlangan. Asosiy konlar Cherkassi, Xmelnitskiy va Dnepropetrovsk viloyatlarida joylashgan. 1990-yillarda yillik qazib olish 300-400 ming tonnani tashkil etgan, ammo so'nggi yillarda sezilarli kamaygan [Panasyugin va boshq., 2022].

9-jadval**Ukrainaning asosiy bentonit konlari**

Kon	Joylashuvi	Bentonit turi	Montmorillonit, %	Zahira, mln. tonna
Cherkassi	Cherkassi vil.	Ca	65-75	~15
Dashukovsk	Cherkassi vil.	Ca	60-70	~10
Konoplyanka	Xmelnitskiy vil.	Ca	55-65	~8
Gorodok	Xmelnitskiy vil.	Ca-Na	60-70	~5

Belarus

Belarusda sanoat ahamiyatiga ega yagona bentonit koni – "Ostrojansk" (Lelchitsa viloyati) koni bo'lib, zahirasi 12.3 million tonnani tashkil etadi [Panasyugin va boshq., 2022]. Bu kon kalsiyli bentonit bo'lib, quyish sanoati, burg'ilash eritmalari va gidroizolyatsiya materiallari ishlab chiqarish uchun yaroqli.

Qozog'iston

Qozog'istonda bir qancha bentonit konlari mavjud, eng mashhuri – Sharqiy Qozog'iston viloyatidagi Tagan koni. Tagan koni bentonitlari tarkibida 60-70% montmorillonit, 12-18% kvars, 3-5% karbonatlar mavjud [Sartbayeva, 2023]. Kation almashinish sig'imi 0.65 ekv/kg ni tashkil qiladi.

10-jadval**Tagan koni bentonitining kimyoviy tarkibi [Sartbayeva]**

Oksid	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	LOI
Mass. %	62.6	16.65	3.44	1.63	3.37	2.59	0.98	0.29	8.45

Tojikiston

Tojikistonning asosiy bentonit konlari – Sharshar, Dashtibed, Karatog', Gulizindon. Ular asosan janubiy va markaziy Tojikistonda joylashgan [Kariyev va boshq., 1991-1994; Emomov va boshq., 2005].

Sharshar koni bentonitlari tarkibida 60-65montmorillonit, 15-20% kvars, 5-7% dala shpatlari, 2-3% karbonatlar mavjud. Kislotali aktivatsiya natijasida ularning sorbsion xususiyatlari keskin ortadi [Donayev va boshq., 2025].

11-jadval

Sharshar koni bentonitining kimyoviy tarkibi [Emomov, Donayev]

Oksid	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	LOI
Mass. %	60.8	13.9	4.12	2.33	0.88	0.81	2.26	2.43	0.18	5.78

O'zbekiston

O'zbekiston hududida bentonitning bir qancha konlari aniqlangan. Ular asosan Qoraqalpog'iston Respublikasi, Navoiy viloyati va Jizzax viloyatida joylashgan. Konlarning mineralogik tarkibi va sifati haqida to'liq ma'lumotlar yetarli emas, ammo mavjud ma'lumotlar ular asosan kalsiyli bentonitlar ekanligini ko'rsatadi [Xamidov va boshq., 2019].

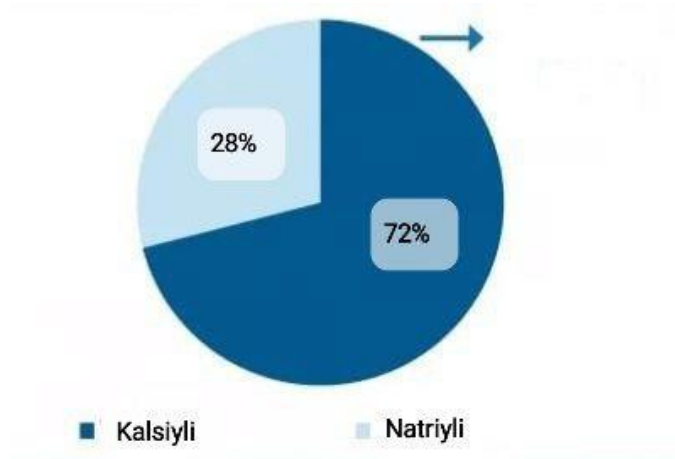
12-jadval. O'zbekiston bentonit konlari (taxminiy ma'lumotlar)

Kon nomi	Joylashuvi	Bentoni t turi	Montmorillonit , %	Zahira, mln. tonna
Navoiy konlari	Navoiy vil	Ca	55-65	~15
Qoraqalpog'iston	Qoraqalpog'iston	Ca	50-60	~20
Jizzax	Jizzax vil	Ca-Na	55-65	~5

Jahonda bentonit ishlab chiqarish va iste'moli tarkibi

Ishlab chiqarish tarkibi

Jahonda ishlab chiqarilayotgan bentonitning taxminan 70-75% kalsiyli, 25-30% natriyli bentonitlardir. Ammo qiymat jihatidan natriyli bentonitlarning ulushi ancha yuqori, chunki ular qimmatroq va yuqori texnologiyali sohalarda ishlatiladi.



8-rasm. Dunyo bo'yicha ishlab chiqarilayotgan bentonitning turlar bo'yicha taqsimlanishi: aylana diagramma: kalsiyli 72%, natriyli 28%

Iste'mol tarkibi

Bentonit iste'moli sanoat tarmoqlari bo'yicha turlicha taqsimlangan. Hindiston Kon byurosining 2015-2016 yillardagi ma'lumotlariga ko'ra [Indira, 2015]:

13-jadval

Bentonit iste'molining tarmoqlar bo'yicha taqsimlanishi (%)

Sanoat tarmog'i	Hindiston	Rossiya	Belarus	Ukraina	Jahon o'rtacha
Metallurgiya (quyish)	38	34	46	37.8	30-40
Neft-gaz sanoati (burg'ilash)	26	33	24	26.6	20-30
Temir rudasini pelletlashtirish	9	11	17	11.6	10-15
Qurilish	-	10	7	8.1	5-10
Sorbentlar va katalizatorlar	5	5	3	3.7	5-8
Qishloq xo'jaligi	4	2	4	4.5	3-5
Boshqalar	18	5	3	8.1	10-15

Tahlil:

Metallurgiya va quyish sanoati eng katta iste'molchi hisoblanadi.

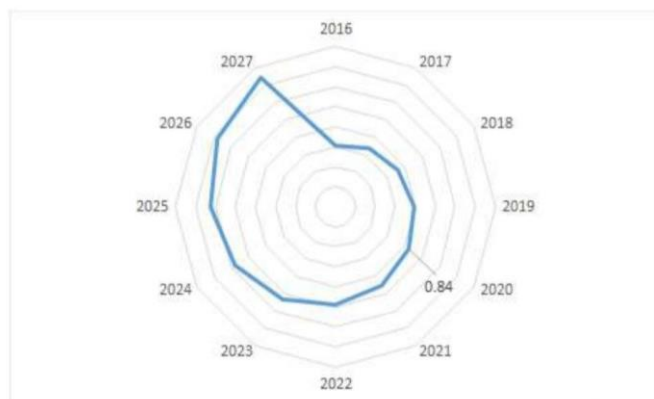
Neft-gaz sanoati ayniqsa Rossiya va Qozog'istonda yuqori ulushga ega.

Belarus da metallurgiya ulushi boshqa davlatlarga nisbatan yuqori.

Qurilish sohasida iste'mol rivojlangan davlatlarda yuqoriroq.

Narx dinamikasi

Bentonit narxi uning turiga, sifatiga va qayta ishlanganlik darajasiga bog'liq. Xom bentonitning narxi 20-50 AQSh dollari/tonna, quritilgan va maydalangan bentonit 50-150 dollar/tonna, aktivatsiyalangan (soda yoki kislota bilan) bentonit 150-400 dollar/tonna, organobentonitlar esa 1000-3000 dollar/tonnagacha yetishi mumkin [USGS, 2023].



9-rasm. Bentonit narxlarining dinamikasi (AQSh dollari/tonna): 2016-2027 yillar uchun narx grafigi ko'rsatilgan.

Bentonit konlarini qazib olish va qayta ishlash texnologiyalari

Qazib olish usullari

Bentonit konlari odatda yer yuzasiga yaqin joylashgan bo'lib, asosan ochiq usulda (karyer) qazib olinadi [Hindiston Kon byurosi, 2015]. Qazib olish chuqurligi 10-50 metrni tashkil qiladi.

Qazib olish jarayoni quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Yer ustki qatlamini tozalash (buldozerlar bilan)
2. Bentonit qatlamini qazish (ekskavatorlar yordamida)
3. Transportirovka (samosvallarda) – qayta ishlash zavodiga
4. Tabiiy quritish – quyosh ostida, namlikni 30% dan 15-20% gacha pasaytirish

10-rasm. Bentonit konining ochiq usulda qazib olinishi (sxema)



10-rasmda karyer sxemasi ko'rsatilgan.

Qayta ishlash bosqichlari

Qazib olingan xom bentonit quyidagi bosqichlardan o'tadi [Hindiston Kon byurosi, 2015]:

Dastlabki maydalash

Xom bentonit jag'li yoki konusli maydalagichlarda 50-100 mm gacha maydalanadi.

Quritish

Maydalangan bentonit aylanuvchi barabanli quritgichlarda 100-150°C haroratda quritiladi. Namlik 5-10% gacha pasaytiriladi.

Aktivatsiya (kerak bo'lsa)

Kalsiyli bentonitlar uchun soda (Na_2CO_3) bilan aktivatsiya qo'shiladi.

Kislotali aktivatsiya – sorbent va katalizator ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Organik aktivatsiya – organobentonitlar olishda.

Mayda maydalash (pulverizatsiya)

Rolikli tegirmonlar, bolg'ali tegirmonlar yoki planetar tegirmonlarda kerakli disperslikkacha (odatda 200 mesh – 75 mikron) maydalanadi.

Fraksiyalarga ajratish

Havo separatorlari yoki elaklarda kerakli fraksiya ajratib olinadi.

Qadoqlash

Polietilen qoplarga (25-50 kg) yoki katta hajmli big-beglarga qadoqlanadi.

11-rasm. Bentonitni qayta ishlashning texnologik sxemasi



11-rasmda qayta ishlash bosqichlari blok-sxemada ko‘rsatilgan.

Xulosa va asosiy tendensiyalar

1. Bentonit – vulkanogen-cho‘kindi va gidrotermal-metasomatik yo‘llar bilan hosil bo‘lgan, asosiy minerali montmorillonit bo‘lgan noyob gil mineralidir.

2. Mineralogik tarkibi – bentonit sifati montmorillonit miqdori bilan belgilanadi. Sanoat uchun yaroqli bentonitlar kamida 60-70% montmorillonit saqlashi kerak.

3. Kimyoviy tarkibi – asosan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O oksidlaridan iborat. Na_2O va CaO nisbati bentonitning turini (natriyli yoki kalsiyli) belgilaydi.

4. Natriyli bentonitlar yuqori shishuvchanlik va kolloid xususiyatlarga ega, kam uchraydi. Kalsiyli bentonitlar keng tarqalgan, ammo soda bilan aktivatsiyani talab qiladi.

5. Global zahiralar 15-20 milliard tonnani tashkil etadi. Eng yirik zahiralar AQSh, Xitoy, Hindiston, Rossiya va Turkiyada joylashgan.

6. Global qazib olish yiliga 20-22 million tonnani tashkil etadi. Yetakchi davlatlar: AQSh (~4.5 mln. tonna), Xitoy (~4.0 mln. tonna), Turkiya (~3.7 mln. tonna), Hindiston (~2.0 mln. tonna).

7. MDH davlatlarida yirik konlar Rossiya (Nurlat, Biklyan, Tarasovsk), Ukraina (Cherkassi), Belarus (Ostrojansk), Qozog‘iston (Tagan), Tojikiston (Sharshar) va O‘zbekistonda joylashgan. MDH bentonitlari asosan kalsiyli bo‘lib, soda aktivatsiyasini talab qiladi.

8. Iste'mol tarkibi – asosiy iste'molchilar metallurgiya (quyish sanoati), neft-gaz sanoati (burg‘ilash eritmalari), temir rudasini pelletlashtirish, qurilish, sorbentlar va katalizatorlar ishlab chiqarishdir.

9. Narx – bentonit turi va qayta ishlanganlik darajasiga qarab 20 dollardan (xom) 3000 dollargacha (organobentonit) o‘zgaradi.

10. Kelajak tendensiyalari:

Yuqori sifatli natriyli bentonitlarga talab orthormoqda

Mahalliy kalsiyli bentonitlarni soda va kislota bilan aktivatsiya qilish texnologiyalari takomillashmoqda

Organobentonitlar va pillared- gillar kabi yuqori texnologiyali mahsulotlar ishlab chiqarish rivojlanmoqda

Ekologik tozalash texnologiyalarida bentonitdan foydalanish kengaymoqda

O‘zbekiston va Markaziy Osiyo davlatlari o‘z bentonit resurslaridan samarali foydalanish imkoniyatlarini o‘rganmoqda

BENTONIT GILLARINING FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI

2-BOB: Quyidagi mavzularni o‘z ichiga oladi:

Shishish mexanizmlari va kinetikasi

Ion almashinish xususiyatlari

Adsorbsion xususiyatlar (BET, g‘ovaklik)

Reologik xususiyatlar

Termik xususiyatlar (DTA/TG)

Elektr va magnit xususiyatlari

Bentonit gillarining sanoat va texnologiyada keng qo‘llanilishi ularning noyob fizik-kimyoviy xossalari bilan belgilanadi. Ushbu bobda bentonitlarning asosiy xossalari – shishish, ion almashinish, adsorbsiya, reologik va termik xususiyatlari batafsil yoritiladi.

Bentonitlarning gidrofilligi va gidratatsiyasi

Bentonitlar yuqori darajada gidrofil materiallardir. Gidrofillik – bu mineral sirtining suv molekulalarini o‘ziga tortish va ular bilan o‘zaro ta’sirlashish qobiliyati. Bu xususiyat montmorillonit kristall panjarasining tuzilishi va undagi almashinuvchi kationlarning tabiati bilan belgilanadi [Grim, 1968].

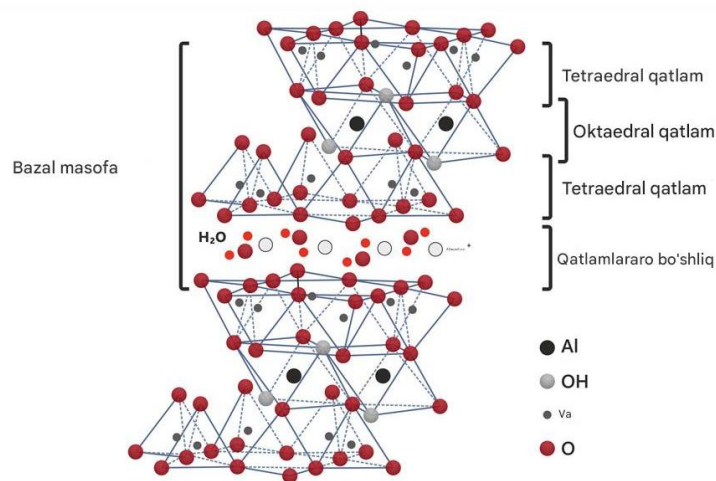
Gidratatsiya jarayoni ikki bosqichda amalga oshadi:

1. Yuzaki gidratatsiya: Suv molekulalari montmorillonit zarrachalarining tashqi yuzasiga vodorod bog‘lari va Van-der-Vaals kuchlari orqali birikadi.

2. Interlayer gidratatsiya: Suv molekulalari paketlar orasidagi bo‘shliqqa (interlayer) kirib, almashinuvchi kationlar atrofida gidratatsion qobiq hosil qiladi. Bu jarayonda suv molekulalari kationlar bilan koordinatsion bog‘lanadi.

Gidratatsiya darajasi quyidagi omillarga bog‘liq:

- Almashinuvchi kationlarning tabiati ($\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$)
- Atrof-muhit namligi
- Harorat
- Eritmadagi elektrolitlar konsentratsiyasi



12-rasmda suv molekularining interlayerda joylashishi sxematik ko'rsatilgan.

Shishish mexanizmlari:

Shishish – bentonitning eng muhim xususiyatlaridan biri bo'lib, uning suv yoki boshqa qutbli suyuqliklarni yutganda hajmini oshirish qobiliyatidir.

Bentonitlarda ikki xil shishish mexanizmi kuzatiladi [Güven, 1988; Murray, 2007]:

Kristall shishish (intrakristall shishish)

Bu birinchi bosqich bo'lib, suv molekularining almashinuvchi kationlar atrofida gidratlanishi natijasida yuz beradi. Natijada paketlar orasidagi masofa (d_{001}) 1.0 nm dan 2.0 nm gacha ortadi. Kristall shishish barcha bentonitlarda kuzatiladi va odatda bir necha qatlam suv bilan chegaralanadi (1-4 molekulyar qatlam).

Kristall shishishning asosiy xususiyatlari:

Qaytar jarayon (quritilganda paketlar yana yaqinlashadi)

Barcha smektitlarda kuzatiladi

d_{001} ning diskret qiymatlari (1.24 nm, 1.55 nm, 1.85 nm va h.k.)

Suv molekularining tartibli joylashishi

Osmatik shishish

Bu ikkinchi bosqich bo'lib, asosan natriyli bentonitlarda kuzatiladi. Paketlar orasidagi masofa 10-13 nm gacha yetishi mumkin. Osmotik shishish quyidagi sabablarga ko'ra yuz beradi:

Paketlar sirtidagi manfiy zaryadlar o'zaro itariladi

Interlayerdagi kationlar konsentratsiyasi tashqi eritmadagidan yuqori bo'lgani uchun osmotik bosim hosil bo'ladi

Suv molekulari bu bosim farqini tenglashtirish uchun interlayerga kiradi

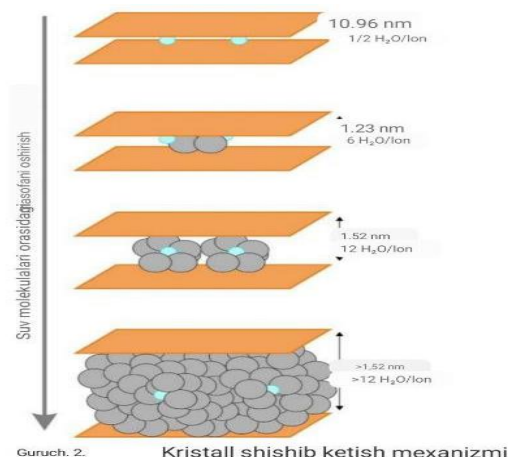
Osmotik shishishning xususiyatlari:

Asosan natriyli bentonitlarda kuzatiladi

Kalsiyli bentonitlarda cheklangan (paketlar agregat holida qoladi)
d001 uzluksiz ortadi

Quritilganda qaytmas o'zgarishlar bo'lishi mumkin

13-rasm. Kristall va osmotik shishish sxemasi



13-rasmda ikki xil shishish mexanizmi solishtirma ko'rsatilgan.

Shishish darajasiga ta'sir etuvchi omillar

Almashinuvchi kationlarning tabiati

Bu eng muhim omil hisoblanadi. Kationlarning gidratlanish energiyasi ularning shishish qobiliyatini belgilaydi.

14-jadval

Kationlarning gidratlanish energiyasi va shishishga ta'siri

Kation	Ion radiusi, Å	Gidratlanish energiyasi, kJ/mol	Suv molekulari soni	Shishish darajasi
Na ⁺	0.98	406	4-6	Yuqori (15-20 marta)
K ⁺	1.33	322	2-4	Past (5-8 marta)
Ca ²⁺	1.06	1577	8-12	O'rtacha (3-6 marta)
Mg ²⁺	0.78	1922	10-14	O'rtacha (3-5 marta)
Li ⁺	0.68	519	4-6	O'rtacha (8-12 marta)

*Birinchi gidratatsion qobiqdagi suv molekularining soni

Natriyli bentonitlarda shishish yuqori bo'lishining sababi:

Na⁺ ionlarining gidratlanish energiyasi o'rtacha

Bir valentli kationlar ikki valentlilarga nisbatan paketlar bilan zaifroq bogʻlanadi

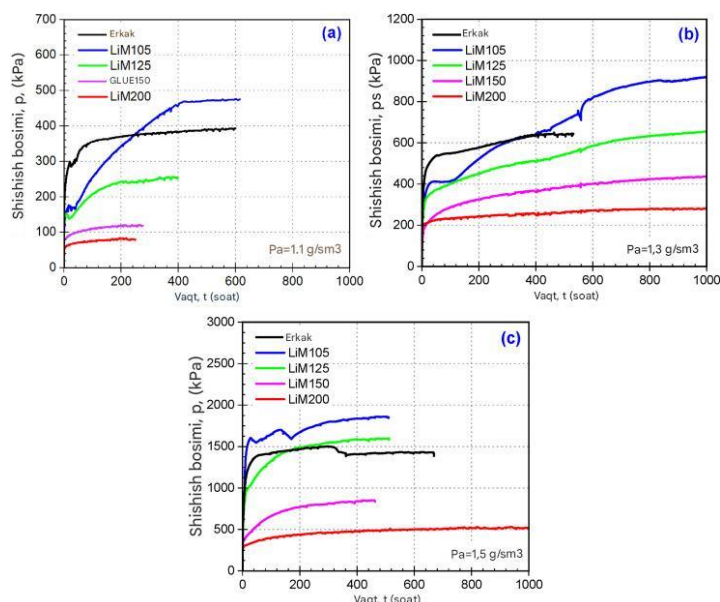
Natriyli bentonitlar suvda alohida paketlarga disperslanadi

Qatlam zaryadining kattaligi va joylashuvi

Qatlam zaryadi qanchalik yuqori boʻlsa, paketlar orasidagi tortishish kuchi shunchalik katta va shishish shunchalik past boʻladi. Qatlam zaryadining joylashuvi ham muhim:

Tetraedrik zaryad: Paketlar bilan kuchliroq bogʻlangan, shishish pastroq

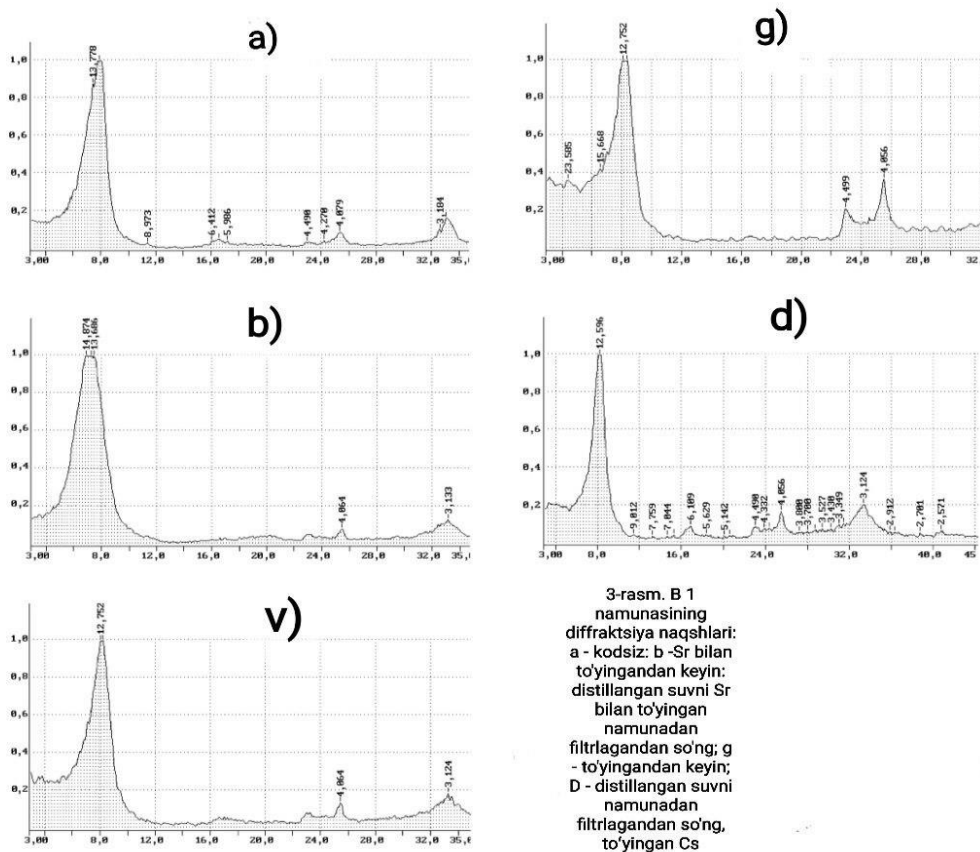
Oktaedrik zaryad: Paketlar bilan kuchsizroq bogʻlangan, shishish yuqoriroq



14-rasmda: Qatlam zaryadi va shishish darajasi oʻrtasidagi bogʻliqlik grafigi koʻrsatilgan.

Eritmadagi elektrolitlar konsentratsiyasi

Elektrolitlar konsentratsiyasi ortishi bilan shishish kamayadi. Bu qoʻsh elektr qavatining siqilishi bilan bogʻliq. DLVO nazariyasiga koʻra [Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek], elektrolit konsentratsiyasi ortishi bilan zarrachalar orasidagi itarilish kuchi kamayadi.



15-rasmda shishish darajasining tuz konsentratsiyasiga bog'liqligi grafigi ko'rsatilgan.

pH ning shishishga ta'siri murakkab va ikki xil mexanizm orqali amalga oshadi:

Past pH (kislotali muhit): H^+ ionlari almashinadi, shishish kamayadi

Yuqori pH (ishqoriy muhit): OH^- ionlari sirt zaryadini oshiradi, shishish ortadi

Optimal shishish odatda neytral yoki kuchsiz ishqoriy muhitda (pH 7-9) kuzatiladi.

Harorat ortishi bilan shishish odatda kamayadi, chunki:

- Suvning dielektrik o'tkazuvchanligi pasayadi
- Kationlarning gidratlanish qobiliyati kamayadi
- Issiqlik harakati kuchayadi

Turli bentonitlarning shishish ko'rsatkichlari

Turli konlardan olingan bentonitlarning shishish ko'rsatkichlari

Kon	Bentonit turi	Shishish indeksi* (ml/2g)	Maksimal shishish, marta	Suv sig'imi, %
Vayoming (AQSh)	Na	35-45	15-20	600-800
Askansk (Gruziya)	Na	30-40	12-18	500-700
Milos oroli (Gretsiya)	Ca	10-15	4-6	200-300
Nurlat (Rossiya)	Ca	8-12	3-5	150-250
Tagan (Qozog'iston)	Na-Ca	15-20	5-8	250-350
Sharshar (Tojikiston)	Ca	8-10	3-4	150-200
O'zbekiston konlari	Ca	8-12	3-5	150-250

ASTM standarti bo'yicha (2 g bentonitning 24 soatda shishishi, ml)
Shishishning amaliy ahamiyati

Shishish xossasi bentonitning quyidagi sohalarda qo'llanilishini belgilaydi:

1. Burg'ilash eritmalari: Yuqori shishish quduq devorlarini mustahkamlaydi va suyuqlik yo'qotilishini kamaytiradi.
2. Hidroizolyatsiya: Bentonit matlari suv bilan kontaktda shishib, suv o'tkazmaydigan qatlam hosil qiladi.
3. Temir rudasini pelletlashtirish: Bog'lovchi sifatida ishlatiladi.
4. Quyish sanoati: Qum-gil qoliplarida bog'lovchi vazifasini bajaradi.
5. Geotexnika: Tunnel va fundamentlarda muhrlovchi material sifatida.

Ion almashinish xususiyatlari

Ion almashinish mexanizmi

Bentonitlarning ion almashinish qobiliyati ularning eng muhim xususiyatlaridan biridir. Ion almashinish – interlayerdagi almashinuvchi kationlarning atrofdagi eritmadagi boshqa kationlar bilan almashinish jarayonidir [Bergaya et al., 2006].

Ion almashinishning asosiy qonuniyatlari:

Almashinish ekvivalent miqdorda sodir bo‘ladi (1 mol Ca^{2+} 2 mol Na^+ bilan almashadi)

Almashinish qaytar jarayondir

Kationlarning almashinish selektivligi ularning valentligi va radiusiga bog‘liq

Almashinish tezligi diffuziya bilan chegaralanadi

Kationlarning almashinish qatorlari (selektivlik bo‘yicha):

$\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+$ (bir valentlilar uchun)

$\text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Sr}^{2+} < \text{Ba}^{2+}$ (ikki valentlilar uchun)

Yuqori valentli kationlar past valentlilarga nisbatan selektivroq almashadi.

Kation almashinish sig‘imi (KAS)

Kation almashinish sig‘imi (KAS) – 100 gramm quruq gildagi almashinuvchi kationlarning umumiy miqdori (milligramm-ekvivalentlarda, mg-ekv/100g).

KAS ni aniqlash usullari:

1. Ammoniy atsetat usuli: Namuna 1M NH_4OAc eritmasi bilan ishlanadi, so‘ngra ajralgan kationlar miqdori aniqlanadi.

2. Metilen ko‘ki usuli: Kolorimetrik usul, tezkor.

3. Bariy xlorid usuli: Namuna BaCl_2 bilan to‘yintiriladi, so‘ngra MgSO_4 bilan titrlanadi.

2.3-jadval

Turli bentonitlarning KAS qiymatlari (mg-ekv/100g)

Bentonit turi	Shahar	mg-ekv/100g	Izoh
Natriyli bentonit	Vayoming	80-120	O‘rtacha
Kalsiyli bentonit	Milos	100-150	Yuqori
Nurlat	Rossiya	85-110	O‘rtacha
Tagan	Qozog‘iston	90-115	O‘rtacha
Sharshar	Tojikiston	70-95	O‘rtacha-past

KAS qiymatiga ta’sir etuvchi omillar:

Montmorillonit miqdori

Qatlam zaryadining kattaligi

Izomorf almashinish darajasi

Zarrachalarning disperslik darajasi

Almashinuvchi kationlarning tarkibi va uning ahamiyati

Almashinuvchi kationlarning tarkibi bentonitning turini va xossalarini belgilaydi. Quyidagi jadvalda turli konlardagi almashinuvchi kationlarning tarkibi keltirilgan [Sabitov va boshq., 2015; Panasyugin va boshq., 2022].

16-jadval

Turli konlardagi almashinuvchi kationlarning tarkibi (mg-ekv/100g)

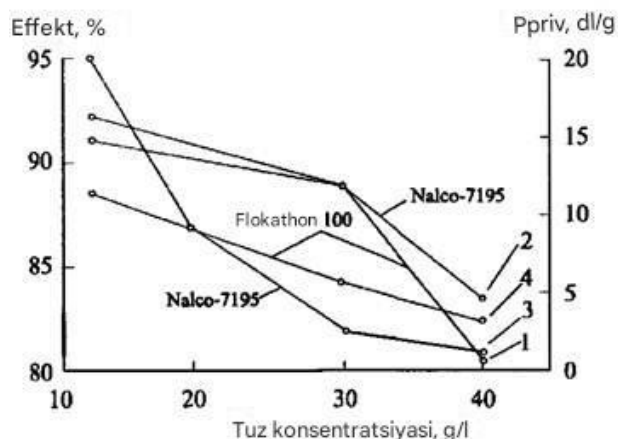
Kon	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Yig'indi	Turi
Vayoming (AQSh)	8-12	4-6	65-85	2-4	80-105	Na
Askansk (Gruziya)	15-20	8-12	50-65	3-5	80-100	Na
Milos (Gretsiya)	45-60	15-25	5-10	2-4	70-90	Ca
Nurlat (Rossiya)	45-55	15-25	2-5	1-3	70-85	Ca
Tagan (Qozog'iston)	30-40	10-15	25-35	3-5	70-95	Na-Ca
Sharshar (Tojikiston)	35-45	15-20	5-10	2-4	60-75	Ca

Almashinuvchi kationlar tarkibini o'zgartirish orqali bentonitning xossalarini boshqarish mumkin:

Natriyli shaklga o'tkazish (soda aktivatsiyasi): Kalsiyli bentonitga Na₂CO₃ qo'shib, Ca²⁺ ni Na⁺ ga almashish. Natijada shishish va yopishqoqlik ortadi.

Kislotali aktivatsiya: H⁺ ionlari bilan to'yintirish, bu esa katalitik va sorbsion xossalarni o'zgartiradi.

Organik modifikatsiya: Organik kationlar (masalan, alkilammoniy) bilan almashish, natijada organogillar hosil bo'ladi.



16-rasm. Soda konsentratsiyasiga bog'liq holda shishish va yopishqoqlik o'zgarishi grafigi ko'rsatilgan.

Anion almashinish xususiyatlari

Bentonitlarda anion almashinish qobiliyati kation almashinishga nisbatan ancha past (2-10 mg-ekv/100g). Anion almashinish asosan kristall chekkalaridagi musbat zaryadlangan markazlarda sodir bo'ladi. Asosan fosfat, sulfat, nitrat kabi anionlar almashinishi mumkin.

Adsorbsion xususiyatlar

Adsorbsiya turlari va mexanizmlari

Bentonitlar adsorbsion xususiyatlari bilan ham ajralib turadi. Adsorbsiya bir necha mexanizm orqali amalga oshadi [Gregg & Sing, 1982]:

Fizik adsorbsiya Van-der-Vaals kuchlari hisobiga sodir bo'ladi. Bu qaytar jarayon bo'lib, adsorbsiyalangan molekulalar o'z kimyoviy tabiatini saqlaydi. Fizik adsorbsiya quyidagi xususiyatlarga ega:

- Past issiqlik effekti (20-40 kJ/mol)
- Ko'p qatlamli adsorbsiya mumkin
- Tez sodir bo'ladi
- Qaytar

Kimyoviy adsorbsiya adsorbent va adsorbat o'rtasida kimyoviy bog' hosil bo'lishi bilan sodir bo'ladi. Xususiyatlari:

- Yuqori issiqlik effekti (50-400 kJ/mol)
- Bir qatlamli adsorbsiya
- Sekin sodir bo'ladi
- Ko'pincha qaytmas

Ion almashinish adsorbsiyasi

Bu yuqorida ko'rib chiqilgan ion almashinish mexanizmi bo'lib, elektrostatik kuchlar hisobiga sodir bo'ladi.

Solishtirma yuza va uni aniqlash usullari

Solishtirma yuza – 1 gramm materialning umumiy yuzasi (m^2/g). Bentonitlarning solishtirma yuzasi juda yuqori (600-800 m^2/g gacha) bo'lib, bu ularni ajoyib adsorbentlarga aylantiradi.

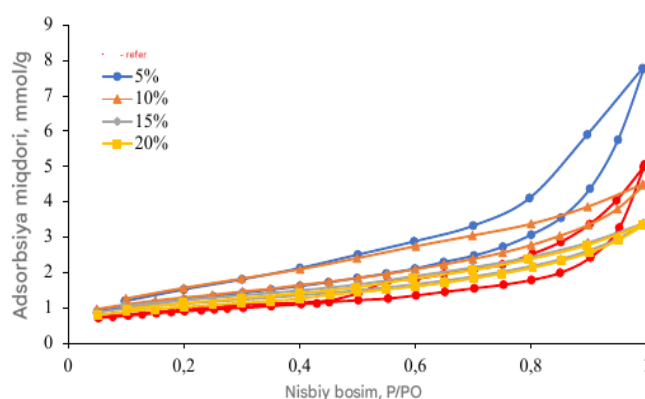
Solishtirma yuzani aniqlash usullari:

1. BET usuli (Brunauer-Emmett-Teller): Azot adsorbsiyasi asosida. Eng keng tarqalgan usul.
2. Etilen glikol usuli: Etilen glikol monoetil efiri adsorbsiyasi asosida.
3. Metilen ko'ki usuli: Kolorimetrik usul, tezkor.

Turli bentonitlarning solishtirma yuzasi (BET, m²/g)

Bentonit turi	Solishtirma yuza, m ² /g	Izoh
Tabiiy natriyli bentonit	600-750	Juda yuqori
Tabiiy kalsiyli bentonit	400-600	Yuqori
Kislotali aktivatsiyalangan	300-500*	G'ovaklik ortadi
Pillared clay (ustunli)	200-400	Mikrog'ovakli
Mexanoaktivatsiyalangan	450-650	Disperslik ortadi

*Kislotali aktivatsiyada ba'zi hollarda yuqori qiymatlar ham kuzatilishi mumkin



17-rasm. Bentonitlarning azot adsorbsiya-desorbsiya izotermalari (BET)

G'ovaklik va g'ovaklarning o'lchamlari bo'yicha taqsimlanishi

Bentonitlarning g'ovak tuzilishi ularning adsorbsion xususiyatlariga katta ta'sir ko'rsatadi. G'ovaklar o'lchamiga ko'ra uch turga bo'linadi [IUPAC klassifikatsiyasi]:

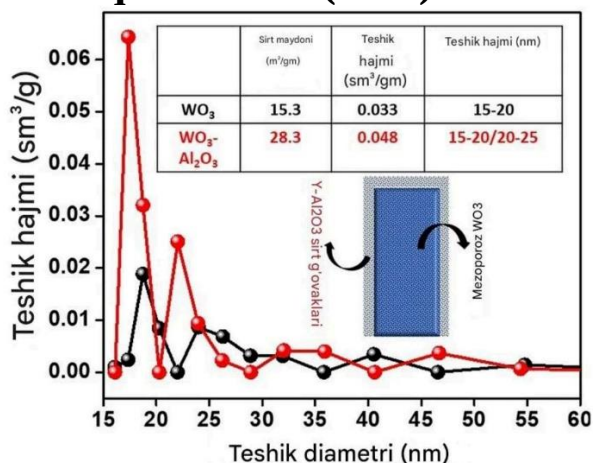
- Mikrog'ovaklar: < 2 nm
- Mezog'ovaklar: 2-50 nm
- Makrog'ovaklar: > 50 nm

Tabiiy bentonitlarda asosan mezog'ovaklar ustunlik qiladi. Kislotali aktivatsiya va pillared- gillar hosil qilish natijasida mikrog'ovaklik ortadi.

18-jadval

Turli bentonitlarning g'ovaklik parametrlari

Bentonit turi	Mikrog'ovak hajmi, sm^3/g	Mezog'ovak hajmi, sm^3/g	O'rtacha g'ovak diametri, nm
Tabiiy Na-bentonit	0.02-0.05	0.10-0.15	8-12
Tabiiy Ca-bentonit	0.01-0.03	0.08-0.12	10-15
Kislotali aktivatsiyalangan	0.10-0.20	0.15-0.25	4-8
Al-pillared clay	0.08-0.15	0.10-0.20	2-5

18-rasm. Bentonit g'ovaklarining o'lchamlari bo'yicha taqsimlanishi (BJH)

18-rasmda g'ovak o'lchamlari taqsimlanishi grafigi ko'rsatilgan. Suv bug'lari va gazlarning adsorbsiyasi. Bentonitlar suv bug'larini va turli gazlarni (CO_2 , SO_2 , NH_3 , H_2S) yuqori darajada adsorbsiyalaydi. Suv bug'larining adsorbsiyasi shishish jarayoni bilan chambarchas bog'liq.

19-jadval. Bentonitlarning gazlarni adsorbsiyalash qobiliyati

Gaz	Adsorbsiya, mg/g (25°C , 1 atm)	Izoh
Suv bug'i (H_2O)	200-400	Yuqori, shishish bilan bog'liq
Ammiak (NH_3)	50-150	Kimyoviy adsorbsiya
Oltingugurt dioksidi (SO_2)	40-120	Kimyoviy va fizik adsorbsiya

Karbonat anhidrid (CO ₂)	20-50	Fizik adsorbsiya
Metan (CH ₄)	5-15	Fizik adsorbsiya

Eritmalardan adsorbsiya

Bentonitlar suvli eritmalardan turli moddalarni adsorbsiyalaydi:

Organik moddalar adsorbsiyasi

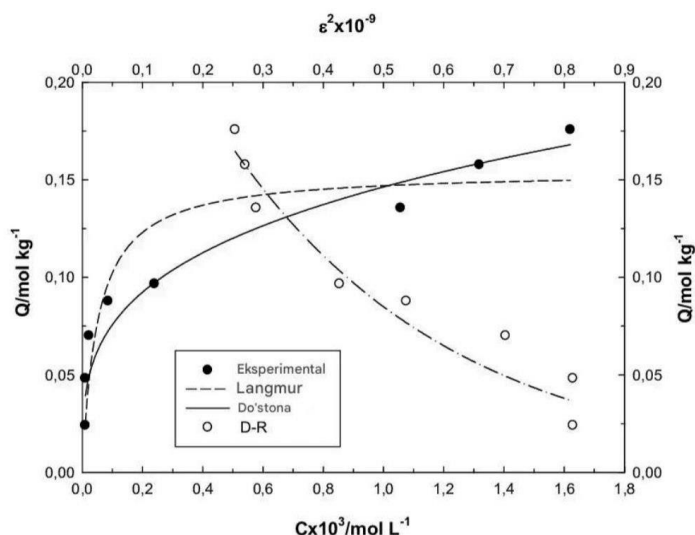
Tabiiy bentonitlar gidrofil bo'lgani uchun organik moddalarni yomon adsorbsiyalaydi. Organogillarga aylantirilgandan so'ng organik moddalarni yuqori darajada yutadi [Panasyugin va boshq., 2022].

Og'ir metall ionlari adsorbsiyasi

Bentonitlar Pb²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺ kabi og'ir metall ionlarini yuqori darajada adsorbsiyalaydi. Adsorbsiya asosan ion almashinish mexanizmi orqali boradi.

20-jadval. Bentonitlarning og'ir metall ionlarini adsorbsiyalash qobiliyati

Metall ioni	Adsorbsiya sig'imi, mg/g	Optimal Ph	Izoh
Pb ²⁺	80-150	5-6	Juda yuqori
Cd ²⁺	50-100	6-7	Yuqori
Cu ²⁺	40-80	5-6	O'rtacha
Zn ²⁺	30-60	6-7	O'rtacha
Ni ²⁺	20-50	6-8	O'rtacha
Cr ³⁺	30-70	4-5	Yuqori
Cr ⁶⁺	10-30	2-3	Past, kislotali muhitda



19-rasm. Bentonitda Pb²⁺ adsorbsiyasining izotermasi (Langmuir va Freundlich modellari)

Reologik xususiyatlar

Bentonit suspenziyalari nyuton bo'lmagan suyuqliklar xususiyatini namoyon etadi. Ularning reologik xatti-harakati ko'plab omillarga bog'liq.

Asosiy reologik tushunchalar

Qovushoqlik (η) – suyuqlikning oqishga qarshilik ko'rsatish xususiyati. Nyuton suyuqliklarida qovushoqlik o'zgarmas bo'ladi.

Siljish kuchlanishi (τ) – birlik yuzaga ta'sir etuvchi kuch (Pa).

Siljish tezligi ($\dot{\gamma}$) – suyuqlik qatlamlarining nisbiy tezligi (s^{-1}).

Bentonit suspenziyalari uchun quyidagi reologik modellar qo'llaniladi [Luckham & Rossi, 1999]:

Bingham plastik modeli

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot \dot{\gamma}$$

Bu yerda:

· τ_0 – oquvchanlik chegarasi (Pa), suspenziya oqishi uchun zarur minimal kuchlanish

· η_{pl} – plastik qovushoqlik ($Pa \cdot s$)

Psevdoplastik model (Ostvald-de-Vil model)

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$$

Bu yerda:

· K – konsistensiya ko'rsatkichi

· n – oqim indeksi ($n < 1$ – psevdoplastik, $n = 1$ – nyuton, $n > 1$ – dilatant)

Kasson modeli

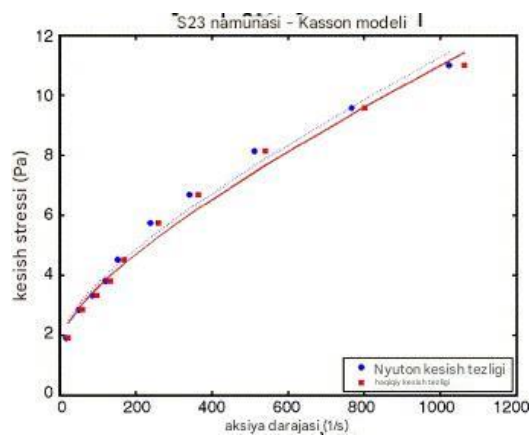
$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_c} + \sqrt{\eta_c} \cdot \sqrt{\dot{\gamma}}$$

Bentonit konsentratsiyasining ta'siri

Bentonit konsentratsiyasi ortishi bilan qovushoqlik va oquvchanlik chegarasi ortadi. Past konsentratsiyalarda (5-8%) nyutonga yaqin xatti-harakat kuzatiladi, yuqori konsentratsiyalarda esa aniq ifodalangan Bingham plastik xususiyat namoyon bo'ladi.

21-jadval. Turli konsentratsiyali Na-bentonit suspenziyalarining reologik parametrlari.

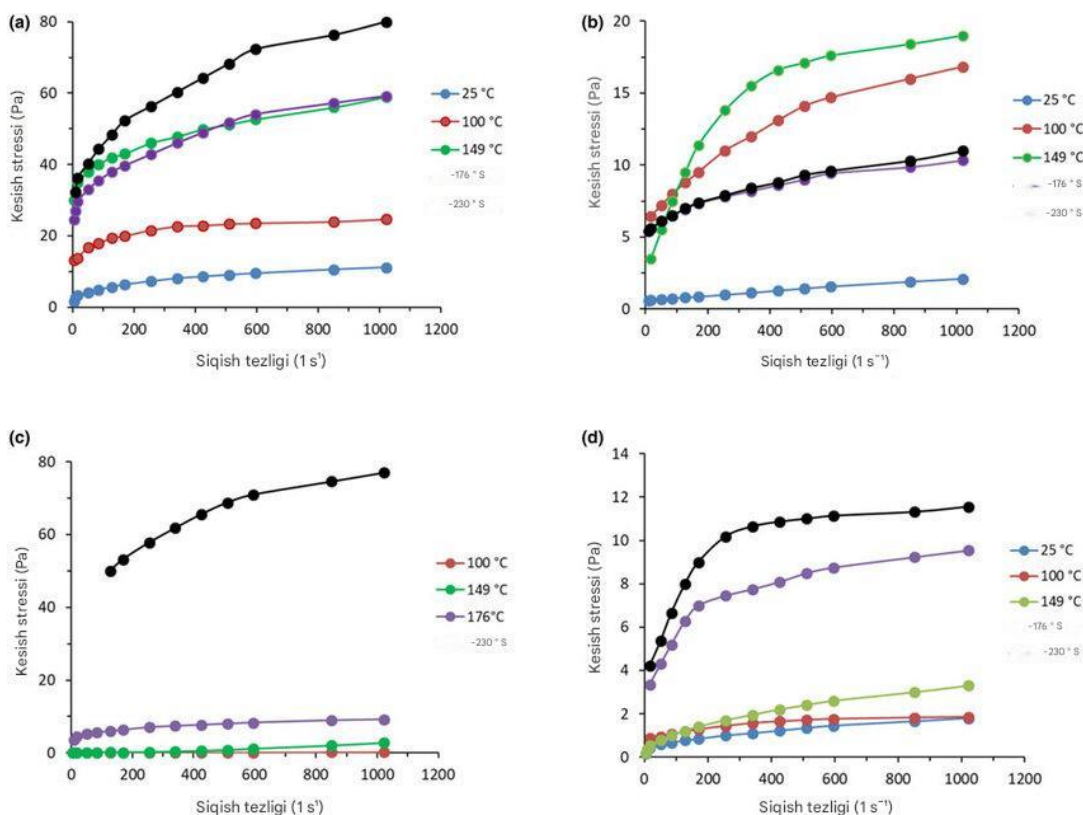
Bentonit konsentratsiyasi, %	Oquvchanlik chegarasi τ_0 , Pa	Plastik qovushoqlik η_{pl} , mPa·s	pH
2% (≈ 20 g/350 ml)	0.5-1.0	5-10	8.5
4% (≈ 40 g/350 ml)	2-4	15-25	8.8
6% (≈ 60 g/350 ml)	5-10	30-50	9.0
8% (≈ 80 g/350 ml)	15-25	60-100	9.2
10% (≈ 100 g/350 ml)	30-50	120-200	9.5



20-rasm. Bentonit suspenziyalari uchun reologik modellar (grafik)

Almashinuvchi kationlar tabiatining ta'siri

Almashinuvchi kationlar tabiati suspenziyalarning reologik xususiyatlariga katta ta'sir ko'rsatadi.



21-rasm turli haroratlarda qarigan loy suspenziyalarning reogrammalari. (a) gektorit; (b) saponit; (c) stevensit; (d) sepiolit.

Natriyli bentonitlar kalsiyli bentonitlarga nisbatan ancha yuqori qovushoqlik va oquvchanlik chegarasiga ega. Buning sababi natriyli bentonitlarning suvda yaxshiroq disperslanishi va alohida paketlarning o'zaro ta'siridir.

pH va elektrolitlarning ta'siri

pH va elektrolitlar konsentratsiyasi suspenziyalarning reologik xususiyatlariga kuchli ta'sir ko'rsatadi:

22-jadval. NaCl konsentratsiyasining Na-bentonit suspenziyasining reologik parametrlariga ta'siri (5% suspenziya)

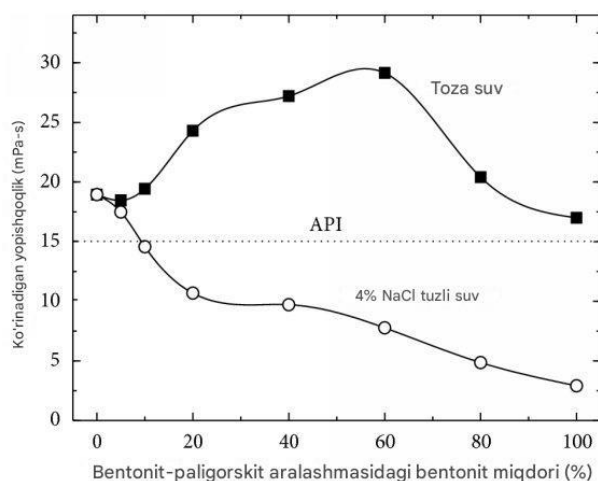
NaCl konsentratsiyasi, M	Oquvchanlik chegarasi τ_0 , Pa	Plastik qovushoqlik η_{pl} , mPa·s	Izoh
0 (dist. suv)	8.5	35	Maksimal
0.001	7.2	32	Bir oz pasaygan
0.01	4.5	25	Sezilarli pasaygan
0.1	1.2	15	Kuchsiz tuzilma
1.0	0.2	8	Nyutonga yaqin

pH ta'siri:

pH 3-5: Kislotali muhitda qovushoqlik past (zarrachalar flokulyatsiyasi)

pH 6-8: Neytral muhitda qovushoqlik yuqori (disperslangan holat)

pH 9-11: Ishqoriy muhitda qovushoqlik yana pasayadi



22-rasmda pH ga bog'liq qovushoqlik o'zgarishi grafigi ko'rsatilgan.

Tiksotropiya

Tiksotropiya – suspenziyaning vaqt o'tishi bilan qotishi (gel hosil qilishi) va aralashtirilganda suyuqlanish xususiyati. Bu xususiyat bentonit suspenziyalari uchun juda muhimdir [Van Olphen, 1977].

Tiksotropiya mexanizmi:

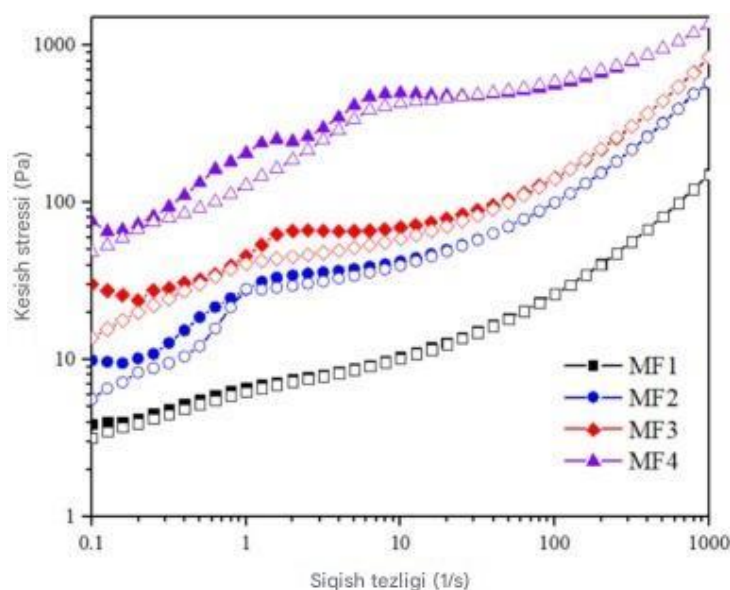
1. Tinch turganda zarrachalar o'zaro ta'sirlashib, uch o'lchamli tarmoq (gel) hosil qiladi.

2. Aralashtirilganda bu tarmoq buziladi va suspenziya suyuq holatga o'tadi (zol).

3. Yana tinch qoldirilganda tarmoq qayta tiklanadi.

Tiksotropiya ko'rsatkichlari:

- Dastlabki gel kuchi: 10 daqiqa tinchlikdan keyin o'lchanadi
- Yakuniy gel kuchi: 24 soat tinchlikdan keyin o'lchanadi
- Tiksotropiya halqasi: Reogrammadagi gisterezis maydoni



23-rasm. Bentonit suspenziyasining tiksotropiya halqasi

Bentonit suspenziyalarining reologik xususiyatlarini tadqiq qilish (Togan Uskarcı tadqiqotlari)

Togan Uskarcı [2006] Turkiyaning Tokat-Reşadiye bentoniti asosida olib borgan tadqiqotlarida suvli va suv bo'lmagan muhitlarda bentonit suspenziyalarining reologik xususiyatlarini o'rgangan.

23-jadval. Turli muhitlarda bentonit suspenziyalarining reologik parametrlari [Togan, 2006]

Muhit	Kritik konsentratsiya* (funt/barrel)	Izoh
Suv	30-35	Suvli muhitda past konsentratsiya
Aseton	125-150	Organik erituvchida yuqori konsentratsiya
Metil-etil keton (MEK)	175-200	Juda yuqori konsentratsiya
n-Geksan	325-350	Eng yuqori konsentratsiya

*Nasos bilan haydash mumkin bo'lgan maksimal konsentratsiya

Tahlil:

Suvda bentonit zarrachalari o'zaro ta'sirlashib, past konsentratsiyalardayoq yuqori qovushoqlik hosil qiladi.

Organik erituvchilarda bentonit zarrachalari o'zaro ta'sirlashmaydi yoki juda kuchsiz ta'sirlashadi, shuning uchun yuqori konsentratsiyalargacha suyuq holatda qoladi.

n-Geksan eng yuqori konsentratsiyaga erishish imkonini beradi, chunki u eng qutbsiz erituvchidir.

Bu tadqiqotlar past sifatli bentonitlarni tozalash va yuqori konsentratsiyali suspenziyalar tayyorlash imkonini beradi.

Termik xususiyatlar

Termik tahlil usullari

Bentonitlarning termik xususiyatlarini o'rganishda quyidagi usullar qo'llaniladi:

TGA (Termogravimetrik analiz): Harorat ortishi bilan massa o'zgarishini o'lchaydi

DTA (Differentsial-termik analiz): Namunadagi issiqlik effektlarini qayd etadi

DSC (Differentsial skanerlovchi kalorimetriya): Issiqlik sig'imi va faza o'tishlarini o'lchaydi

Bentonitlarning termik o'zgarish bosqichlari

Bentonitlarni qizdirganda bir necha bosqichli o'zgarishlar kuzatiladi [Grim, 1968; Panasyugin va boshq., 2022]:

1-bosqich (20-200°C): Adsorbsion va interlayer suvining chiqishi

- Endotermik effekt (maksimum 100-150°C)
- Massa yo'qotilishi 5-15%
- Paketlar orasidagi masofa 1.5-1.6 nm dan 0.96 nm gacha kamayadi
- Struktura saqlanadi, o'zgarish qaytar

2-bosqich (200-400°C): Interlayer suvining to'liq chiqishi

- Kuchsiz endotermik effekt
- Massa yo'qotilishi 2-5%
- Struktura saqlanadi

3-bosqich (400-750°C): Hidroksil guruhlarining chiqishi (degidroksillanish)

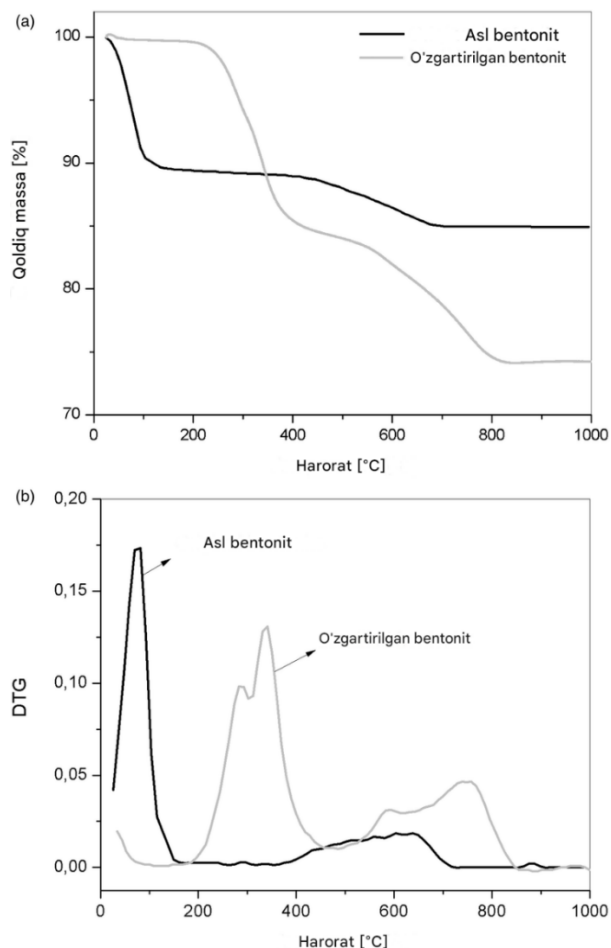
- Endotermik effekt (maksimum 500-700°C)
- Massa yo'qotilishi 3-6%
- Kristall panjara qisman buziladi
- O'zgarish qaytmas

4-bosqich (750-900°C): Amorfizatsiya va yangi fazalarning hosil bo‘lishi

- Ekzotermik effekt (maksimum 850-900°C)
- Struktura butunlay buziladi
- Shpinel, mullit, kristobalit kabi yangi minerallar hosil bo‘ladi

5-bosqich (>900°C): Eritish va kristallanish

- Suyuqlanish boshlanadi
- Keramik materiallar hosil bo‘ladi



24-rasmda bentonitning tipik TGA/DTA egri chiziqlari ko‘rsatilgan.

24-jadval. Turli bentonitlarning termik tahlil natijalari

Bentonit turi	1-chi endotermik cho‘qqi, °C	2-chi endotermik cho‘qqi, °C	3-chi endotermik cho‘qqi, °C	Ekzotermik cho‘qqi, °C
Natriyli (Vayoming)	120-150	500-550	650-700	850-900
Kalsiyli (Milos)	130-160	520-580	680-730	860-920

Nurlat (Rossiya)	120-140	530-570	670-720	870-910
Sharshar (Tojikiston)*	100-150	520-570	680-730	860-900
Tagan (Qozog'iston)	115-145	525-565	675-715	865-905

*Donayev va boshq. [2025] ma'lumotlari

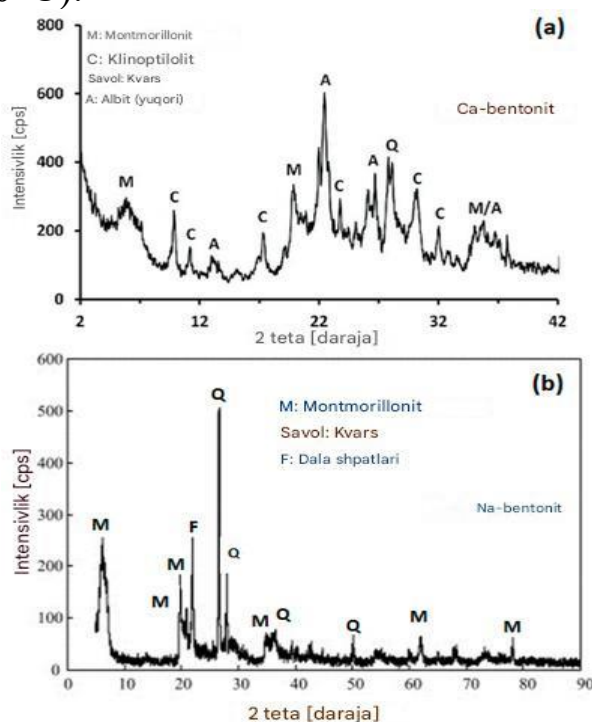
Turli bentonitlarning termik xatti-harakatidagi farqlar

Natriyli va kalsiyli bentonitlarning termik xatti-harakatida sezilarli farqlar mavjud:

1. Birinchi endotermik effekt: Kalsiyli bentonitlarda ko'pincha qo'shaloq cho'qqi kuzatiladi (120°C va 180-200°C). Bu Ca^{2+} ionlarining ikki qatlamli gidratlanishi bilan bog'liq.

2. Massa yo'qotilishi: Natriyli bentonitlarda massa yo'qotilishi ko'proq (18-22%), chunki ular ko'p suv saqlaydi. Kalsiyli bentonitlarda massa yo'qotilishi kamroq (12-18%).

3. Degidroksillanish harorati: Natriyli bentonitlarda degidroksillanish odatda pastroq haroratda (500-550°C) sodir bo'ladi, kalsiyli bentonitlarda esa yuqoriroq (550-600°C).



25-rasmda ikki tur bentonitning DTA grafigi solishtirilgan.

Modifikatsiyalangan bentonitlarning termik xususiyatlari
Kislotali aktivatsiyalangan bentonitlar

Kislotali aktivatsiya termik barqarorlikni pasaytiradi, chunki struktura qisman buziladi. Degidroksillanish harorati pastga siljiydi (450-500°C).

Pillared- gillar (ustunli gillar)

Ustunli gillar yuqori termik barqarorlikka ega (500-800°C) [Panasyugin va boshq., 2022].

25-jadval. Turli pillared- gillarning termik barqarorligi

Pillared-clay turi	Maksimal ish harorati, °C	500°C da $S_{y\delta}$, m ² /g	700°C da $S_{y\delta}$, m ² /g
Al-pillared	500-600	150-250	50-100
Zr-pillared	600-700	180-280	100-150
Fe-pillared	400-500	100-200	30-70
Fe-Zr-pillared	600-700	200-300	120-180
Fe-Al-pillared	500-600	150-250	80-120

Elektr va magnit xususiyatlari

Elektr qo'sh qavat (DLVO nazariyasi)

Bentonit zarrachalari suvli muhitda sirtida manfiy zaryad hosil qiladi. Bu zaryad atrofida musbat ionlar (qarshi ionlar) to'planib, elektr qo'sh qavat (EQQ) hosil qiladi [Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek].

EQQ ning tuzilishi:

1. Stern qatlami: Sirtga yaqin joylashgan, qattiq bog'langan ionlar
2. Diffuz qatlam: Stern qatlamidan tashqarida joylashgan, erkin harakatlanuvchi ionlar

EQQ qalinligi (κ^{-1}) elektrolit konsentratsiyasiga bog'liq:

$$\kappa^2 = (F^2 \sum c_i z_i^2) / (\epsilon_0 \epsilon RT)$$

Bu yerda:

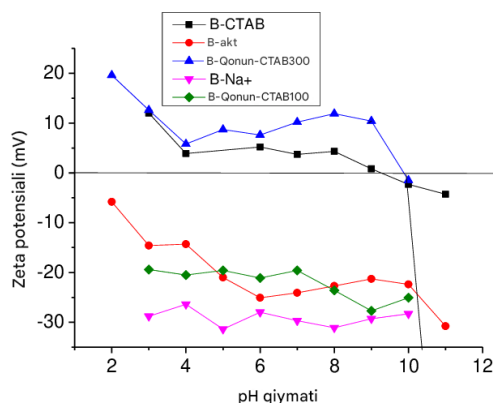
- F – Faraday doimiysi
- c_i – ion konsentratsiyasi
- z_i – ion valentligi
- ϵ_0 – vakuum dielektrik o'tkazuvchanligi
- ϵ – muhit dielektrik o'tkazuvchanligi
- R – gaz doimiysi
- T – harorat

Zeta-potensial

Zeta-potensial (ζ -potensial) – siljish tekisligidagi potensial. Bu kolloid tizimlarning barqarorligini belgilaydi. $|\zeta| > 30$ mV bo'lsa, tizim barqaror hisoblanadi.

26-jadval. Turli pH qiymatlarida bentonitning zeta-potensialli

pH	Zeta-potensial, mV	Izoh
2-3	+5 to -5	Izoelektrik nuqtaga yaqin
4-5	-10 to -20	O'rtacha barqaror
6-8	-25 to -35	Barqaror
9-11	-30 to -40	Yuqori barqaror

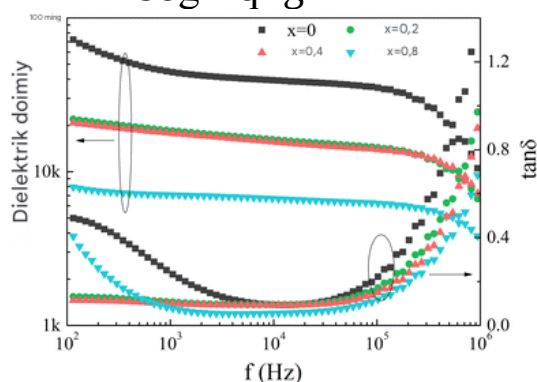


26-rasm. Bentonitning zeta-potensialining pH ga bog'liqligi

Dielektrik xususiyatlar

Bentonitlarning dielektrik xususiyatlarining namligiga, tarkibiga va modifikatsiyasiga bog'liq. Dielektrik o'tkazuvchanlik (ϵ') odatda 2-10 oralig'ida (quruq holat) va 20-80 gacha (nam holat) o'zgaradi [Imanova, 2021].

27-rasm. Bentonitning dielektrik o'tkazuvchanligining chastotaga bog'liqligi

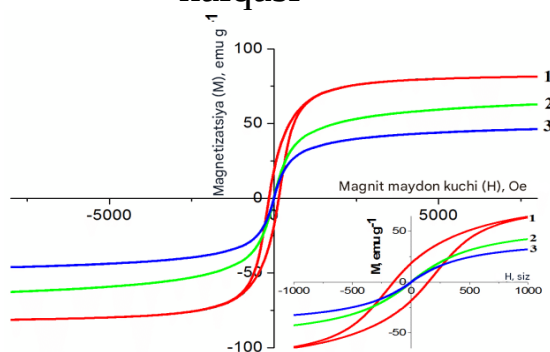


27-rasmda ϵ' ning $\log(f)$ ga bog'liqlik grafiki ko'rsatilgan.

Magnit xususiyatlar

Tabiiy bentonitlar odatda paramagnit xususiyatga ega. Ammo tarkibida temir oksidlari (gematit, magnetit) bo'lsa, magnit xususiyatlari sezilarli bo'lishi mumkin.

28-rasm. Fe_3O_4 bilan modifikatsiyalangan bentonitning histerezis halqasi



28-rasmda magnit momentning maydon kuchlanishiga bogʻliqligi koʻrsatilgan.

Xulosa va asosiy tendensiyalar

Bentonit gillarining fizik-kimyoviy xossalari ularning sanoat va texnologiyada keng qoʻllanilishini ta'minlaydi:

1. Shishish xossasi – natriyli bentonitlarda yuqori (15-20 marta), kalsiyli bentonitlarda past (3-6 marta). Bu xossa almashinuvchi kationlar tabiatiga bogʻliq.

2. Ion almashinish qobiliyati – yuqori (60-150 mg-ekv/100g). Bu bentonitlarni sorbent va katalizator sifatida qoʻllash imkonini beradi.

3. Adsorbsion xususiyatlar – yuqori solishtirma yuza ($400-800 \text{ m}^2/\text{g}$) va gʻovaklik. Ogʻir metallar va organik moddalarni yutishda samarali.

4. Reologik xususiyatlar – nyuton boʻlmagan suyuqliklar xususiyati, tiksotropiya. Bu burgʻilash eritmalari va quyish sanoati uchun muhim.

5. Termik xususiyatlar – bir necha bosqichli oʻzgarishlar. Modifikatsiyalash termik barqarorlikni oshirishi mumkin (pillared- gillar).

6. Elektr xususiyatlar – manfiy zaryadlangan sirt, elektr qoʻsh qavat. Bu kolloid barqarorlikni ta'minlaydi.

BENTONITLARNI KISLOTALI AKTIVATSIYALASH.

Bentonitlarni sulfat va xlorid kislotalari bilan aktivatsiyalash jarayonlari, kinetikasi, optimal sharoitlari va olingan mahsulotlarning xossalari batafsil yoritiladi.

Bentonitlarni kislotalar bilan ishlash – ularning sorbsion, katalitik va boshqa xossalarini yaxshilashning eng samarali va keng tarqalgan usullaridan biridir. Ushbu bobda bentonitlarni sulfat va xlorid kislotalari bilan aktivatsiyalash jarayonlarining fizik-kimyoviy qonuniyatlari, kinetikasi, optimal sharoitlari va olingan mahsulotlarning xossalari batafsil yoritiladi. Asosiy e'tibor O'zbekiston, Tojikiston va Qozog'iston bentonitlari bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarga qaratiladi [Donayev, 2025; Emomov, 2005; Sartbayeva, 2023].

Kislotali aktivatsiyaning maqsad va vazifalari

Kislotali aktivatsiya – bentonitni mineral kislotalar (H_2SO_4 , HCl , HNO_3) eritmalarini bilan ishlash jarayoni bo'lib, quyidagi maqsadlarda amalga oshiriladi [Komadel, 2003; 2016]:

1. Solishtirma yuzani oshirish: Kislotali ishlov natijasida g'ovaklik ortadi va solishtirma yuza $200-500\text{ m}^2/\text{g}$ gacha yetishi mumkin.

2. Kislotali markazlar sonini ko'paytirish: Katalitik faollikni oshirish uchun.

3. Metall oksidlarini eritmaga o'tkazish: Alyuminiy, temir, magniy kabi komponentlarni ajratib olish va ulardan koagulyantlar sifatida foydalanish.

4. Oqartirish qobiliyatini oshirish: Yog'lar va moylarni tozalashda.

5. Strukturani o'zgartirish: Pillared- gillar va boshqa kompozit materiallar olish uchun.

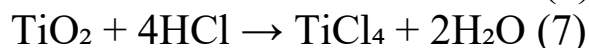
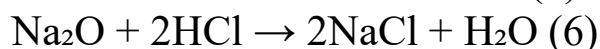
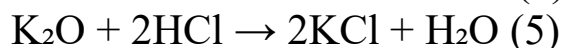
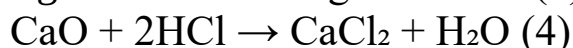
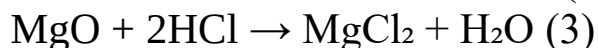
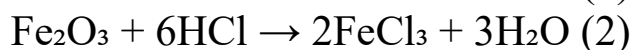
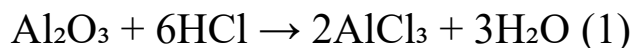
Kislotali aktivatsiya jarayonida bentonit tarkibidagi oktaedrik kationlar (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+}) eritmaga o'tadi, natijada qatlamli struktura qisman buziladi va amorf silikagel hosil bo'ladi [Madejova, 1998].

Kislotali parchalanish kimyosi:

Asosiy kimyoviy reaksiyalar

Bentonitni kislota bilan ishlaganda quyidagi asosiy reaksiyalar sodir bo'ladi [Donayev, 2025]:

Xlorid kislota bilan:



Sulfat kislota bilan:



Reaksiya (9) da hosil bo'lgan CaSO_4 (gips) suvda kam eriydi va cho'kmaga tushadi. Bu sulfat kislota bilan ishlashda hisobga olinishi kerak.

Kislotali parchalanish mexanizmi

Kislotali parchalanish jarayoni bir necha bosqichda amalga oshadi [Krupskaya, 2017; 2019]:

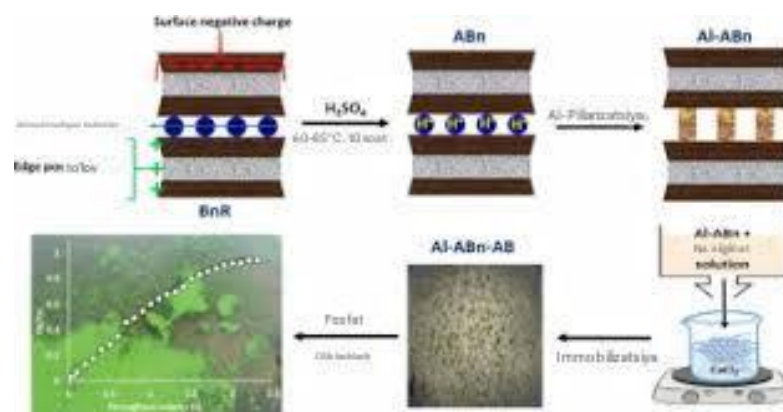
1. Kislotalarning interlayerga diffuziyasi: H^+ ionlari paketlar orasidagi bo'shliqqa kiradi va almashinuvchi kationlar (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) bilan almashadi.

2. Oktaedrik qatlamning parchalanishi: H^+ ionlari oktaedrik qatlamga kirib, Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} ionlarini eritmaga o'tkazadi. Bu jarayonda OH guruhlarini H_2O ga aylanadi.

3. Tetraedrik qatlamning saqlanishi: Tetraedrik qatlam (SiO_4) kislotalarga nisbatan chidamlaroq bo'lib, uzoq vaqt saqlanadi.

4. Amorf silikagel hosil bo'lishi: Oktaedrik kationlarning to'liq erishi natijasida qatlamli struktura buziladi va amorf silikagel ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) hosil bo'ladi.

29-rasmda. Bentonitning kislotali parchalanish bosqichlari (sxema)



29-rasmda to'rt bosqichli parchalanish sxemasi ko'rsatilgan

Kislotali aktivatsiya mahsulotlari

Kislotali aktivatsiya natijasida ikki xil mahsulot olinadi:

Qattiq faza (aktivlangan bentonit)

- Tarkibida asosan SiO_2 (60-90%) saqlaydi
- Amorf yoki yarim amorf struktura
- Yuqori g'ovaklik va solishtirma yuza
- Kislotali markazlarga ega

Suyuq faza (eritma)

- Tarkibida Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} tuzlari
- Koagulyantlar sifatida ishlatilishi mumkin
- Nadir elementlarni ajratib olish manbai

Kislotali parchalanish kinetikasi

Kislotali parchalanish jarayonining kinetik qonuniyatlarini o'rganish optimal sharoitlarni tanlash va jarayon mexanizmini tushunish imkonini beradi.

Kinetik modellar

Qattiq jismlarning suyuqliklar bilan reaksiyasi (geterogen jarayonlar) uchun bir necha kinetik modellar mavjud [Levenspiel, 1999]:

1. Yadro siqilish modeli (shrinking core model): Reaksiya qattiq zarrachalar yuzasida boshlanib, ichkariga qarab tarqaladi.
2. Birinchi tartibli kinetik model: Reaksiya tezligi reagent konsentratsiyasiga proporsional.
3. Diffuzion model: Reaksiya tezligi reagentlarning g'ovak ichidagi diffuziyasi bilan chegaralanadi.

Bentonitlarning kislotali parchalanishi uchun ko‘pincha quyidagi tenglama qo‘llaniladi [Donayev, 2025]:

$$\ln(1-\alpha) = -kt \quad (3.15)$$

Bu yerda:

- α – komponentning eritmaga o‘tish darajasi
- t – vaqt, min
- k – tezlik konstantasi, min^{-1}

Haroratning ta’siri va aktivatsiya energiyasi

Harorat kislotali parchalanish tezligiga eng kuchli ta’sir ko‘rsatadigan omildir. Arrhenius tenglamasiga ko‘ra:

$$k = A \cdot \exp(-E_a/RT) \quad (3.16)$$

yoki logarifmik shaklda:

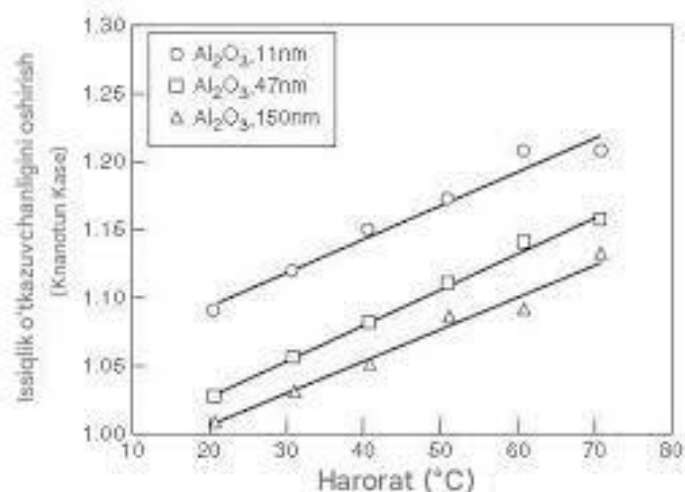
$$\ln k = \ln A - E_a/(RT) \quad (3.17)$$

Bu yerda:

- E_a – aktivatsiya energiyasi, kJ/mol
- A – pre-eksponensial omil
- R – universal gaz doimiysi (8.314 J/mol·K)
- T – mutlaq harorat, K

27-jadval. Turli haroratlarda Al_2O_3 va Fe_2O_3 ning eritmaga o‘tish darajasi (Sharshar bentoniti, 20% HCl, 60 daqiqa) [Donayev, 2025]

Harorat, °C	Al_2O_3 ekstraktsiyasi, %	Fe_2O_3 ekstraktsiyasi, %	Izoh
20	16.8	8.7	Juda past
30	29.1	17.3	Past
40	57.4	41.9	O‘rtacha
50	66.2	54.5	O‘rtacha
60	78.7	66.1	Yuqori
70	80.5	71.4	Yuqori
80	83.9	75.2	Yuqori
90	87.6	78.8	Maksimal
95	86.9	78.6	Biroz pasayish



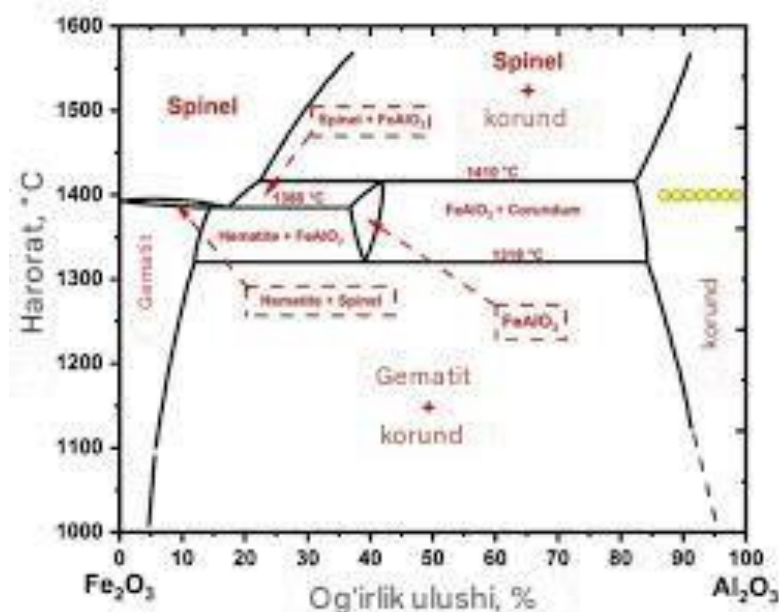
30-rasm. Haroratning Al₂O₃ va Fe₂O₃ ekstraktsiyasiga ta'siri (grafik)

Tahlil:

- 40°C dan past haroratlarda ekstraktsiya juda past
- 40-70°C oralig'ida ekstraktsiya keskin ortadi
- 70-90°C oralig'ida ekstraktsiya yuqori darajaga yetadi
- 90°C dan yuqori haroratlarda ekstraktsiya biroz pasayadi (eritmaning qaynashi va kislota yo'qotilishi sababli)

Aktivatsiya energiyasini hisoblash:

Arrenius grafigidan ($\ln k$ ning $1/T$ ga bog'liqligi) aktivatsiya energiyasi hisoblanadi.



31-rasm. Al₂O₃ va Fe₂O₃ ekstraktsiyasi uchun Arrenius grafigi

**28-jadval. Sharshar bentoniti uchun aktivatsiya energiyalari
[Donayev, 2025]**

Komponent	Harorat oralig'i, °C	Aktivatsiya energiyasi Ea, kJ/mol	Litimlovchi bosqich
Al ₂ O ₃	20-60	50.7	Kinetik
Al ₂ O ₃	60-90	15.4	Diffuzion
Fe ₂ O ₃	20-60	65.5	Kinetik
Fe ₂ O ₃	60-90	15.4	Diffuzion

Tahlil:

Past haroratlarda (20-60°C) Ea yuqori (50-65 kJ/mol) – jarayon kinetik sohada boradi (reaksiya tezligi kimyoviy reaksiyaning o'zi bilan chegaralanadi).

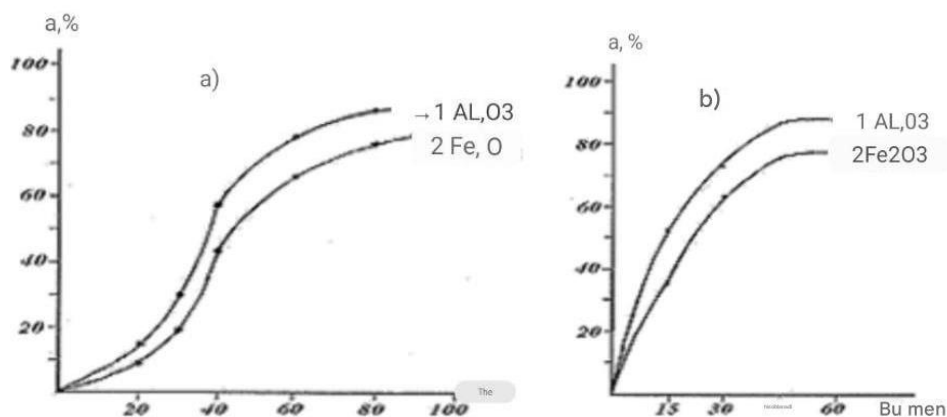
Yuqori haroratlarda (60-90°C) Ea past (≈15 kJ/mol) – jarayon diffuzion sohada boradi (reaksiya tezligi reagentlarning g'ovak ichidagi diffuziyasi bilan chegaralanadi).

Jarayon davomiyligining ta'siri

Jarayon davomiyligi (vaqt) ekstraktsiya darajasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

**29-jadval. Vaqtning Al₂O₃ va Fe₂O₃ ekstraktsiyasiga ta'siri
(Sharshar bentoniti, 20% HCl, 90°C) [Donayev, 2025]**

Vaqt, min	Al ₂ O ₃ ekstraktsiyasi, %	Fe ₂ O ₃ ekstraktsiyasi, %
15	61.8	34.3
20	65.9	44.1
25	74.1	51.5
30	79.2	62.4
35	84.8	71.9
40	89.9	77.8
45	93.6	84.5
50	93.2	84.7
55	93.7	84.2
60	93.9	84.4



32-rasm. Vaqtning Al₂O₃ va Fe₂O₃ ekstraktsiyasiga ta'siri (kinetik egri chiziqlar)

Tahlil:

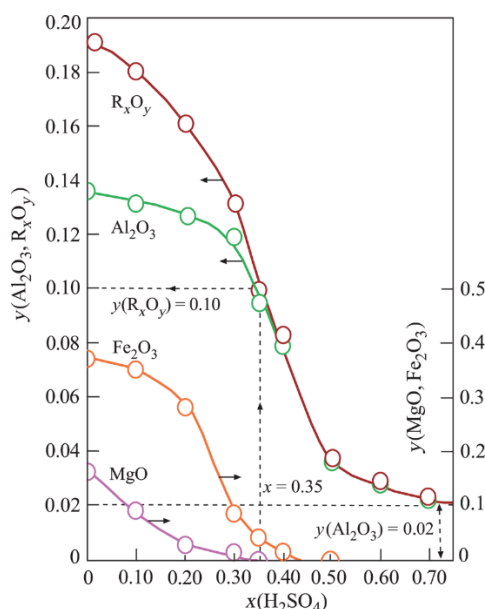
- Dastlabki 30 daqiqada ekstraktsiya tez o'sadi
- 30-45 daqiqada o'sish sekinlashadi
- 45 daqiqadan so'ng ekstraktsiya deyarli o'zgarmaydi (muvozanatga erishiladi)
- Optimal vaqt oralig'i: 45-60 daqiqa

Kislota konsentratsiyasining ta'siri

Kislota konsentratsiyasi ekstraktsiya darajasiga muhim ta'sir ko'rsatadi.

30-jadval. HCl konsentratsiyasining Al₂O₃ va Fe₂O₃ ekstraktsiyasiga ta'siri (Sharshar bentoniti, 90°C, 45 min) [Donayev, 2025]

HCl konsentratsiyasi, %	Al ₂ O ₃ ekstraktsiyasi, %	Fe ₂ O ₃ ekstraktsiyasi, %
5	32.3	24.1
10	61.9	46.3
15	80.8	66.9
20	93.8	84.7
25	93.9	84.5
30	93.6	84.3



33-rasm. H_2SO_4 konsentratsiyasining Al_2O_3 va Fe_2O_3 ekstraksiyasiga ta'siri

Tahlil:

- 5-15% oralig'ida ekstraksiya keskin ortadi
- 20% konsentratsiyada maksimal qiymatga erishiladi
- 20% dan yuqori konsentratsiyalarda ekstraksiya o'zgarmaydi yoki

biroz pasayadi

- Optimal konsentratsiya: 20-25%

Kislota dozasining ta'siri

Kislota dozasi (stexiometrik miqdorga nisbatan) ham muhim omil hisoblanadi.

31-jadval. HCl dozasining Al_2O_3 va Fe_2O_3 ekstraksiyasiga ta'siri (Sharshar bentoniti, $90^\circ C$, 45 min, 20% HCl) [Donayev, 2025]

Kislota dozasi, % stex.	Al_2O_3 ekstraksiyasi, %	Fe_2O_3 ekstraksiyasi, %
25	25.3	16.1
50	50.9	37.8
75	78.8	62.9
100	93.7	84.6
125	93.4	84.7
150	93.8	84.9
175	93.7	84.5
200	93.5	84.4

Tahlil:

- 25-100% oralig'ida doza ortishi bilan ekstraksiya keskin ortadi
- 100% dozada maksimal qiymatga erishiladi
- 100% dan yuqori dozalarda ekstraksiya o'zgarmaydi

- Optimal doza: 100% (stexiometrik miqdor)

Sulfat va xlorid kislotalarining solishtirma tahlili

Ikkala kislota ham bentonitlarni aktivatsiyalashda samarali, ammo ular o'rtasida ba'zi farqlar mavjud.

32-jadval. Sulfat va xlorid kislotalarining qiyosiy tahlili (optimal sharoitlarda)

Parametr	HCl	H ₂ SO ₄	Izoh
Maksimal Al ₂ O ₃ ekstraktsiyasi, %	93-94	87-88	HCl samaraliroq
Maksimal Fe ₂ O ₃ ekstraktsiyasi, %	84-85	78-79	HCl samaraliroq
Optimal konsentratsiya, %	20-25	25-30	H ₂ SO ₄ uchun yuqoriroq
Optimal doza, % stex.	100	150	H ₂ SO ₄ uchun ortiqcha talab etiladi
Optimal harorat, °C	90-95	90	O'xshash
Optimal vaqt, min	45-50	45-60	O'xshash

Qo'shimcha mahsulot – CaSO₄ (gips) cho'kmasi Filtrlashni qiyinlashtirishi mumkin

Tahlil:

- HCl bilan aktivatsiya samaradorligi biroz yuqoriroq
- H₂SO₄ arzonroq, ammo ortiqcha doza talab etiladi
- H₂SO₄ bilan ishlaganda CaSO₄ cho'kmasi filtrlashni qiyinlashtirishi mumkin
- HCl bilan ishlaganda korroziya xavfi yuqori

Turli konlardagi bentonitlarning kislotali parchalanishi

Sharshar koni (Tojikiston)

Sharshar koni bentonitlari bo'yicha Emomov va Donayev tomonidan olib borilgan tadqiqotlar [2005, 2025] yuqorida keltirilgan. Asosiy xulosalar:

- Tarkibida Al₂O₃ – 13.9%, Fe₂O₃ – 4.12%
- Optimal sharoitlar: 90°C, 45-60 min, 20-25% HCl, 100% doza
- Maksimal Al₂O₃ ekstraktsiyasi – 93.8%
- Maksimal Fe₂O₃ ekstraktsiyasi – 84.8%

33-jadval. Sharshar bentonitining kimyoviy tarkibi (mass. %)
[Emomov, 2005]

Komponent	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	LOI
Miqdori	60.8	13.9	4.12	2.33	0.88	0.81	2.26	2.43	0.18	5.78

Tagan koni (Qozog‘iston)

Tagan koni bentonitlari bo‘yicha Sartbayeva [2023] tadqiqotlari:

- Tarkibida Al₂O₃ – 16.65%, Fe₂O₃ – 3.44%
- Kislotali aktivatsiya sorbsion xususiyatlarni oshiradi
- Og‘ir metall ionlarini (Fe³⁺) yutish qobiliyati ortadi

Nurlat koni (Rossiya)

Nurlat koni bentonitlari (Tatarston) kalsiyli bentonitlar bo‘lib, ularning tarkibida Al₂O₃ – 21.55%, Fe₂O₃ – 7.62% [Sabitov, 2015].

34-jadval. Nurlat bentonitining kimyoviy tarkibi (mass. %)
[Sabitov, 2015]

Komponent	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	LOI
Miqdori	56.3	21.55	7.62	2.9	2.21	1.03	1.43	0.34	5.62

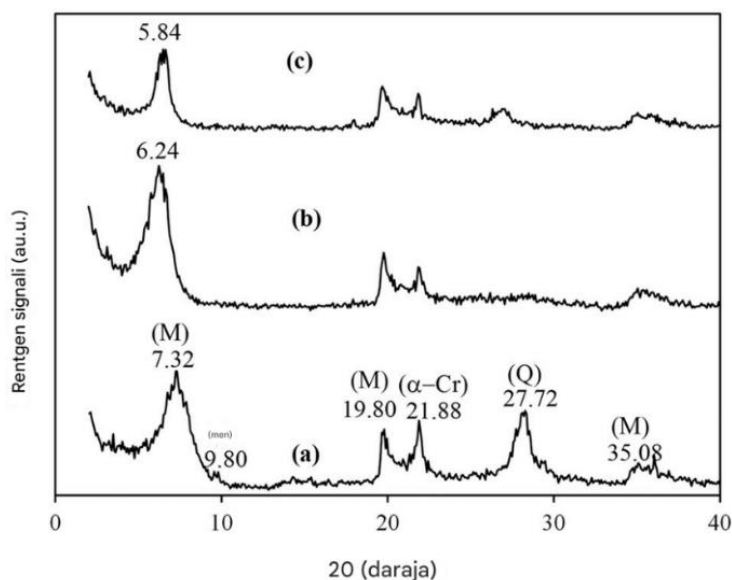
O‘zbekiston bentonitlari

O‘zbekiston bentonitlari bo‘yicha to‘liq ma’lumotlar cheklangan, ammo mavjud ma’lumotlar ular asosan kalsiyli bentonitlar ekanligini ko‘rsatadi [Xamidov, 2019]. Kislotali aktivatsiya ularning xossalarini yaxshilashning samarali usuli bo‘lishi mumkin.

Kislotali aktivatsiyaning bentonit strukturasi va xossalariga ta’siri

Rentgenofazali tahlil (XRD)

Kislotali aktivatsiya natijasida bentonitning rentgenogrammasida sezilarli o‘zgarishlar kuzatiladi.



34-rasm. Sharshar bentonitining rentgenogrammalari: a) tabiiy, b) kislotali aktivatsiyalangan [Donayev, 2025]

35-jadval. Tabiiy va kislotali aktivatsiyalangan bentonitning rentgen ma'lumotlari

Namuna	Asosiy fazalar	d001, Å	Intensivlik	Izoh
Tabiiy bentonit	Montmorillonit, kvarts, gematit	15.2	Yuqori	Kristall
Aktivatsiyalangan (yumshoq rejim)	Montmorillonit (kam), kvarts, amorf faza	14.5	Past	Qisman amorf
Aktivatsiyalangan (kuchli rejim)	Kvarts, amorf faza	—	—	Asosan amorf

Tahlil:

Yumshoq rejimda (5-10% kislota) montmorillonitning asosiy strukturaviy xususiyatlari saqlanadi, ammo d001 biroz kamayadi

Kuchli rejimda (20-30% kislota) montmorillonitga xos cho‘qqilar deyarli yo‘qoladi, amorf faza ustunlik qiladi

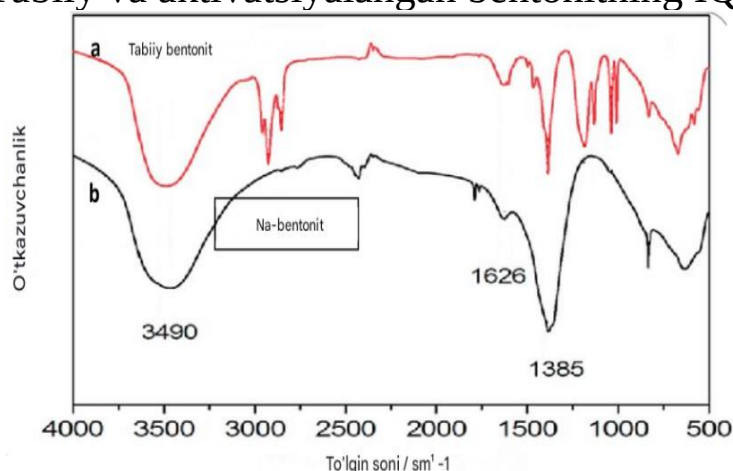
Infraqizil spektroskopiya (FT-IR)

Kislotali aktivatsiya natijasida IQ-spektrlarda ham o‘zgarishlar kuzatiladi.

36-jadval. Tabiiy va aktivatsiyalangan bentonitning IQ-spektridagi asosiy yutilish polosalari [Donayev, 2025; Madejova, 1998]

To'liq soni, sm^{-1}	Bog'lanish turi	Tabiiy bentonit	Aktivatsiyalangan	Izoh
3620-3630	OH (strukturaviy)	Kuchli	Zaif/kuchsiz	Degidroksillanish
3400-3450	OH (suv)	Keng, kuchli	Kamayadi	Suvning chiqishi
1630-1640	H-O-H (suv)	O'rtacha	Kamayadi	Suvning chiqishi
1030-1040	Si-O-Si	Keng, kuchli	Keng, kuchli	Saqlanadi
910-920	Al-Al-OH	Kuchsiz	Yo'q	Al ning chiqishi
870-880	Al-Fe-OH	Kuchsiz	Yo'q	Al-Fe ning chiqishi
790-800	Si-O (kvarts)	Kuchsiz	Kuchsiz	Saqlanadi
520-530	Si-O-Al (oktaedrik)	O'rtacha	Yo'q	Al ning chiqishi
460-470	Si-O-Si	O'rtacha	O'rtacha	Saqlanadi

35-rasm. Tabiiy va aktivatsiyalangan bentonitning IQ-spektrlari



35-rasmda IQ-spektrlar solishtirilgan.

Tahlil:

3620 sm^{-1} dagi strukturaviy OH cho‘qqisining yo‘qolishi degidroksillanishni ko‘rsatadi

910-920 va 520-530 sm^{-1} dagi Al bilan bog‘liq cho‘qqilarning yo‘qolishi oktaedrik Al ning eritmaga o‘tganligini tasdiqlaydi

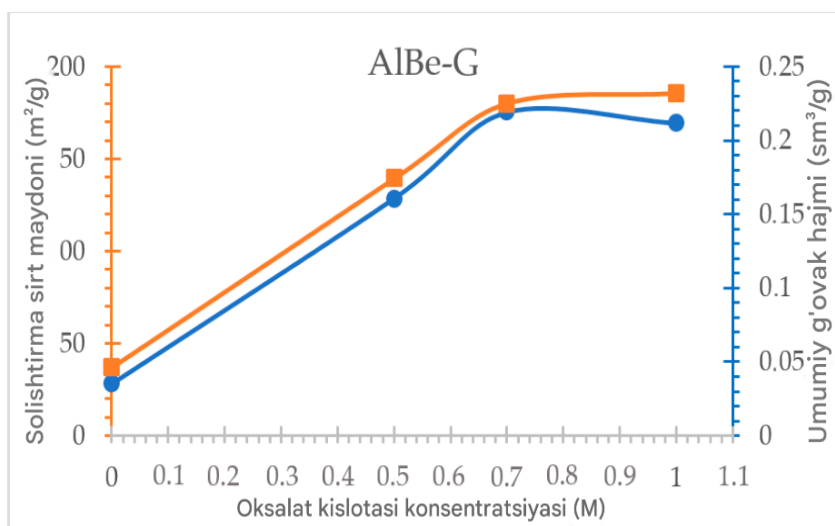
1030-1040 sm^{-1} dagi Si-O-Si cho‘qqisi saqlanadi, bu tetraedrik qatlamning barqarorligini ko‘rsatadi

Solishtirma yuza va g‘ovaklikning o‘zgarishi

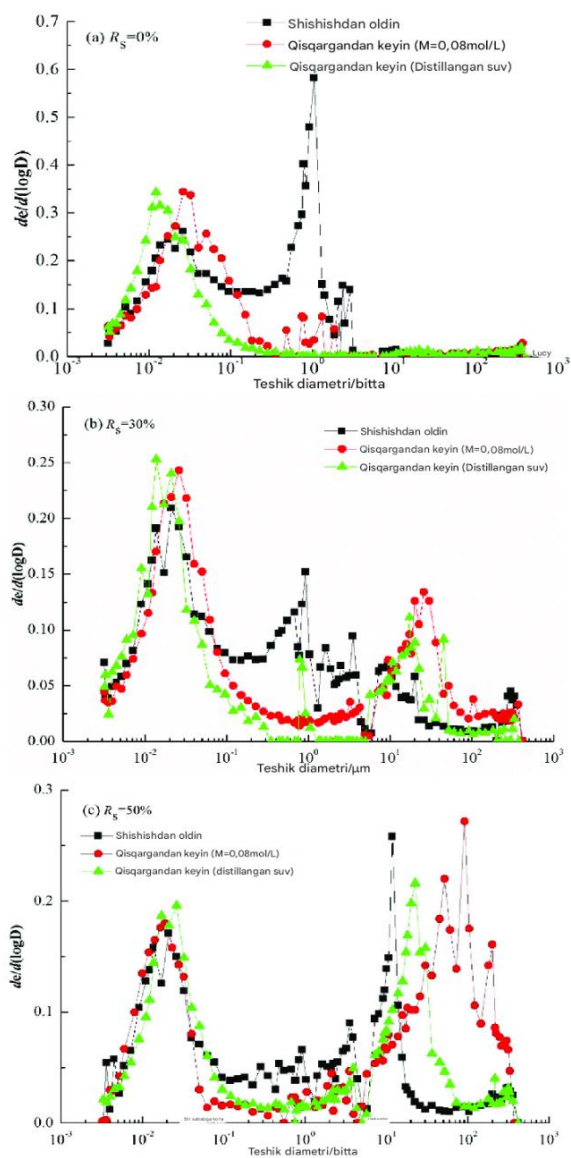
Kislotali aktivatsiya natijasida solishtirma yuza va g‘ovaklik sezilarli o‘zgaradi.

37-jadval. Kislotali aktivatsiyaning bentonitning tekstur xususiyatlariga ta’siri

Namuna	S_{BET} , m^2/g	Mikrog‘ovak hajmi, sm^3/g	Mezog‘ovak hajmi, sm^3/g	O‘rtacha g‘ovak diametri, nm
Tabiiy Na-bentonit	600-750	0.02-0.05	0.10-0.15	8-12
Tabiiy Ca-bentonit	400-600	0.01-0.03	0.08-0.12	10-15
Yumshoq aktivatsiya (5% HCl)	500-650	0.03-0.06	0.12-0.18	7-10
O‘rtacha aktivatsiya (10% HCl)	450-550	0.05-0.10	0.15-0.22	5-8
Kuchli aktivatsiya (20% HCl)	300-450	0.10-0.20	0.20-0.30	4-6
Juda kuchli aktivatsiya (30% HCl)	200-350	0.05-0.15	0.25-0.35	6-10



36-rasmda $S_{\{AlBe-G\}}$ - $C_{\{Oksalat\ kislo\ ta\}}$ grafigi ko'rsatilgan.



3.7-rasmda turli aktivatsiya darajalarida g'ovak o'lchamlari taqsimoti grafigi ko'rsatilgan.

Tahlil:

Yumshoq aktivatsiya (5-10% HCl) da mezog'ovaklik ortadi, mikrog'ovaklik o'zgarishsiz qoladi

O'rtacha aktivatsiya (10-15% HCl) da mikrog'ovaklik ham ortadi

Kuchli aktivatsiya (20-25% HCl) da mikrog'ovaklik maksimumga yetadi, so'ngra pasayadi (strukturaning haddan tashqari buzilishi)

Juda kuchli aktivatsiyada (>25% HCl) g'ovak o'lchamlari yana ortadi (amorf silikagel hosil bo'lishi)

Kislotali markazlarning o'zgarishi

Kislotali aktivatsiya bentonit yuzasidagi kislotali markazlarning soni va kuchini o'zgartiradi.

38-jadval. Kislotali aktivatsiyaning Lyuis va Brønsted kislotali markazlariga ta'siri

Namuna	Umumiy kislotalilik, mmol/g	Lyuis markazlari, mmol/g	Brønsted markazlari, mmol/g
Tabiiy bentonit	0.3-0.6	0.1-0.3	0.2-0.4
Yumshoq aktivatsiya	0.5-0.9	0.2-0.4	0.3-0.6
O'rtacha aktivatsiya	0.8-1.2	0.4-0.7	0.4-0.7
Kuchli aktivatsiya	0.6-1.0	0.3-0.6	0.3-0.5
Juda kuchli aktivatsiya	0.3-0.6	0.1-0.3	0.2-0.4

Tahlil:

O'rtacha aktivatsiyada kislotalilik maksimumga yetadi

Kuchli aktivatsiyada strukturaning buzilishi hisobiga kislotalilik pasayadi

Lyuis markazlari (koordinatsion to'yinmagan Al) oktaedrik Al ning erishi bilan ortadi, keyin kamayadi

Kation almashinish sig'imi (KAS) ning o'zgarishi

Kislotali aktivatsiya KAS ni sezilarli darajada o'zgartiradi.

39-jadval. KAS ning kislota konsentratsiyasiga bog'liqligi

HCl konsentratsiyasi, %	KAS, mg-ekv/100g	O'zgarish, %
0 (tabiiy)	85	0
5	75	-12
10	60	-29
15	45	-47

20	30	-65
25	25	-71
30	20	-76

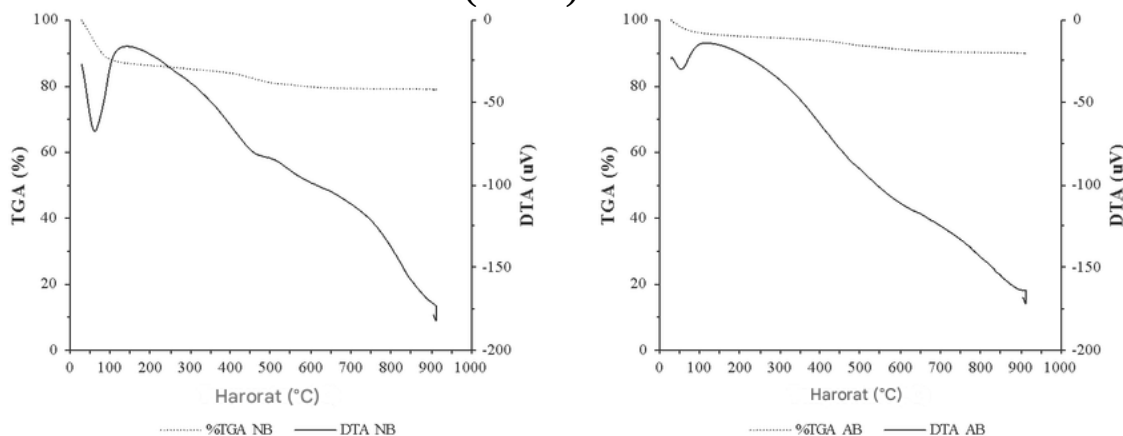
Tahlil:

- Kislota konsentratsiyasi ortishi bilan KAS keskin kamayadi
- 20% HCl da KAS tabiiy holatdagi qiymatining 30-40% ini tashkil qiladi
- Bu almashinuvchi kationlarning (Na^+ , Ca^{2+}) va oktaedrik Al ning eritmaga o'tishi bilan bog'liq

Termik xususiyatlarning o'zgarishi

Kislotali aktivatsiya bentonitning termik barqarorligini pasaytiradi

38-rasm. Tabiiy va aktivatsiyalangan bentonitning termogrammalari (DTA)



38-rasmda DTA egri chiziqlari solishtirilgan.

40-jadval. Kislotali aktivatsiyaning DTA cho'qqilariga ta'siri

Namuna	1-cho'qqi, °C	2-cho'qqi, °C	3-cho'qqi, °C	Ekzotermik cho'qqi, °C
Tabiiy	120-150	520-570	680-730	860-900
Yumshoq aktivatsiya	110-140	500-550	660-710	850-890
Kuchli aktivatsiya	100-130	450-500	600-650	830-870

Tahlil:

Degidroksillanish harorati (2-cho'qqi) pasayadi – struktura zaiflashgan

3-cho'qqi ham pastga siljiydi

Ekzotermik cho'qqi (yangi fazalar hosil bo'lishi) ham pasayadi

Kislotali aktivatsiya mahsulotlarining amaliy qo'llanilishi

Aktivlangan bentonit – sorbent sifatida

Kislotali aktivatsiyalangan bentonit yuqori sorbsion xususiyatlarga ega va quyidagi sohalarda qo'llaniladi:

1. Og'ir metall ionlarini yutish: Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}
2. Organik moddalarni yutish: Fenol, neft mahsulotlari, bo'yoqlar
3. Gazlarni tozalash: SO_2 , NH_3 , H_2S , CO_2

41-jadval. Tabiiy va aktivatsiyalangan bentonitning sorbsion sig'imi (mg/g)

Adsorbat	Tabiiy bentonit	Aktivatsiyalangan (10% HCl)	Aktivatsiyalangan (20% HCl)
Pb^{2+}	50-80	80-120	100-150
Cu^{2+}	30-50	50-80	70-100
Fenol	5-10	15-25	20-30 (organogil)

Eritmadagi tuzlar – koagulyant sifatida

Kislotali parchalanish natijasida hosil bo'lgan eritma ($AlCl_3$, $FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ aralashmasi) suv tozalashda koagulyant sifatida ishlatilishi mumkin [Donayev, 2025; Emomov, 2005].

Aralash alyuminiy-temir koagulyantining afzalliklari:

Sof alyuminiy sulfatga nisbatan arzonroq

Past haroratlarda ham samarali

Flokulyatsiya tezligi yuqori

Cho'kma hajmi kichik

42-jadval. Aralash koagulyant va alyuminiy sulfatning solishtirma samaradorligi [Emomov, 2005]

Ko'rsatkich	Alyuminiy sulfat	Aralash koagulyant (Al+Fe)
Optimal doza ($Al_2O_3+Fe_2O_3$ hisobida), mg/l	20	8
Tozalash samaradorligi (loyqalik bo'yicha), %	85.2	96.4-
Past haroratlarda (2-4°C) samaradorlik	Past	Yuqori
Cho'kma hajmi	Katta	Kichik

Oqartiruvchi gillar

Kislotali aktivatsiyalangan bentonitlar yog'lar, moylar va boshqa organik mahsulotlarni oqartirishda (rangsizlantirishda) keng qo'llaniladi.

43-jadval. Turli bentonitlarning oqartirish qobiliyati

Bentonit turi	Oqartirish indeksi*	Izoh
Tabiiy	30-50	Past
Kislotali aktivatsiyalangan	70-90	Yuqori
Aktivatsiyalangan + organik	85-95	Juda yuqori

*Paxta yog‘ini oqartirish qobiliyati (foizlarda, yuqori qiymat yaxshi)
Katalizatorlar va tashuvchilar

Kislotali aktivatsiyalangan bentonitlar katalizator sifatida va faol fazalar (masalan, metallar) uchun tashuvchi sifatida ishlatiladi:

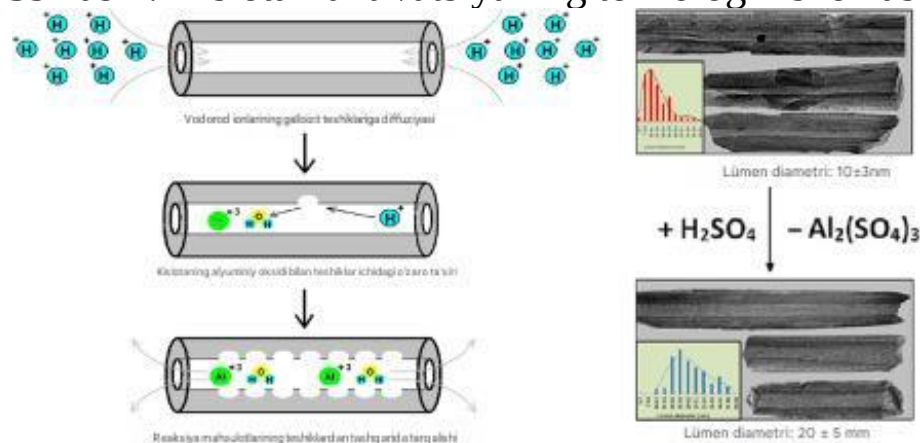
- Organik sintez reaksiyalari (alkillash, izomerlash)
- Kreking jarayonlari
- Biodizel ishlab chiqarish

Kislotali aktivatsiya texnologiyasining asosiy sxemasi

Texnologik sxema

Kislotali aktivatsiyaning sanoat miqyosidagi texnologik sxemasi quyidagi bosqichlardan iborat:

39-rasm. Kislotali aktivatsiyaning texnologik sxemasi



39-rasmda blok-sxema ko‘rsatilgan.

1. Xom bentonitni tayyorlash: Maydalash, quritish, elakdan o‘tkazish
2. Kislota eritmasini tayyorlash: Kerakli konsentratsiyada (10-25%)
3. Aralashtirish va reaksiya: Reaktorda (aralashtirgichli, termostatli) 80-95°C, 1-4 soat
4. Filtrlash: Qattiq va suyuq fazani ajratish
5. Yuvish: Ortiqcha kislota olib tashlash
6. Quritish: 100-150°C da

7. Maydalash va qadoqlash

Asosiy apparatlar

- Maydalagichlar: Jagʻli, bolgʻali, rolikli
- Reaktor: Aralashtirgichli, qoplamali (kislota ga chidamli)
- Filtrlash uskunasi: Nutsch-filtr, press-filtr, sentrifuga
- Quritgich: Barabanli, purkagichli

Material balansi (1000 kg xom bentonit uchun)

44-jadval. Kislotali aktivatsiyaning material balansi

Kirish	Kg	Chiqish	Kg
Xom bentonit	1000	Aktivlangan bentonit	600-800
Kislota (100%)	200-400	Eritma (tuzlar)	400-600
Suv	2000-3000	Yuvish suvlari	2000-3000
Yoʻqotishlar	100-200		
Jami	3200-4400	Jami	3200-4400

Iqtisodiy koʻrsatkichlar

Kislotali aktivatsiya tannarxi quyidagi omillarga bogʻliq:

- Bentonit narxi
- Kislota narxi (HCl qimmatroq, H₂SO₄ arzonroq)
- Energiya xarajatlari (qizdirish, quritish)
- Uskunalar amortizatsiyasi
- Mehnat xarajatlari

45-jadval. 1 tonna aktivlangan bentonit ishlab chiqarishning taxminiy tannarxi

Xarajat moddasi	HCl bilan	H ₂ SO ₄ bilan
Xom bentonit	20-30%	20-30%
Kislota	30-40%	20-30%
Energiya	20-25%	20-25%
Ish haqi	10-15%	10-15%
Boshqalar	5-10%	5-10%

Xulosa va asosiy tendensiyalar

1. Kislotali aktivatsiya – bentonitlarning sorbsion va katalitik xossalarni yaxshilashning samarali usuli.

2. Kinetik tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki:

Past haroratlarda (20-60°C) jarayon kinetik sohada boradi ($E_a = 50-65$ kJ/mol)

Yuqori haroratlarda (60-90°C) jarayon diffuzion sohada boradi ($E_a \approx 15$ kJ/mol)

Optimal harorat: 90°C

Optimal vaqt: 45-60 daqiqa

3. Kislota konsentratsiyasi va dozasi:

Optimal HCl konsentratsiyasi: 20-25%

Optimal H₂SO₄ konsentratsiyasi: 25-30%

Optimal kislota dozasi: 100% (HCl) va 150% (H₂SO₄) stexiometriyadan

4. Strukturaviy o'zgarishlar:

Yumshoq aktivatsiyada struktura saqlanadi, sirt maydoni ortadi

Kuchli aktivatsiyada qatlamli struktura buziladi, amorf silikagel hosil bo'ladi

Al va Fe ionlari eritmaga o'tadi

5. Xossalarning o'zgarishi:

Solishtirma yuza 400-650 m²/g gacha ortadi

Mikro- va mezog'ovaklik ortadi

KAS keskin kamayadi (80% gacha)

Kislotalilik Lyuis markazlari hisobiga ortadi, keyin pasayadi

Termik barqarorlik pasayadi

6. Qo'llanilishi:

Yuqori samarali sorbentlar

Aralash alyuminiy-temir koagulyantlari

Oqartiruvchi gillar

Katalizatorlar va tashuvchilar

7. Mahalliy bentonitlar (Sharshar, Tagan, Nurlat) kislotali aktivatsiya uchun yaroqli va ulardan yuqori sifatli mahsulotlar olish mumkin.

BENTONITLARNI ISHQORIY, TERMIK VA FIZIK AKTIVATSIYALASH

Bentonitlarni ishqoriy aktivatsiyalash (soda bilan), termik aktivatsiyalash, mexanoaktivatsiya va ultratovush bilan ishlash usullari batafsil yoritiladi.

Ushbu bobda bentonitlarni ishqoriy aktivatsiyalash (soda bilan), termik aktivatsiyalash, mexanoaktivatsiya va ultratovush bilan ishlash usullari batafsil yoritiladi. Bu usullar bentonitlarning xossalarini o'zgartirish va ularni turli sanoat tarmoqlari uchun moslashtirish imkonini beradi.

Ishqoriy aktivatsiya (soda bilan faollashtirish)

Ishqoriy aktivatsiya – kalsiyli bentonitlarni natriyli bentonitlarga aylantirishning asosiy usuli hisoblanadi. Bu jarayon "soda aktivatsiyasi" deb ham ataladi, chunki asosan natriy karbonat (Na_2CO_3 – soda) qo'llaniladi [Murray, 2007; Güven, 1988].

Soda aktivatsiyasining maqsadi

Kalsiyli bentonitlar keng tarqalgan, ammo ularning texnologik xususiyatlari (shishish, qovushoqlik, bog'lovchilik) natriyli bentonitlarnikidan past. Soda aktivatsiyasi quyidagi maqsadlarda amalga oshiriladi:

1. Shishish qobiliyatini oshirish: Kalsiyli bentonitlarning shishishi 3-6 martadan 15-20 martagacha ortadi

2. Reologik xususiyatlarni yaxshilash: Qovushoqlik va oquvchanlik chegarasi ortadi

3. Bog'lovchilik qobiliyatini oshirish: Quyish sanoati va pelletlashtirish uchun muhim

4. Kolloid xususiyatlarni yaxshilash: Suvda disperslanish osonlashadi

5. Suv o'tkazmaslik xususiyatini oshirish: Hidroizolyatsiya materiallari uchun

Soda aktivatsiyasining kimyoviy mexanizmi

Soda aktivatsiyasi ion almashinish mexanizmi asosida amalga oshadi [Grim, 1968]:



Jarayon quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Sodaning erishi: Na_2CO_3 suvda erib, Na^+ va CO_3^{2-} ionlariga ajraladi.

2. Ion almashinishi: Eritmadagi Na^+ ionlari bentonitning interlayeridagi Ca^{2+} ionlari bilan almashadi. Bitta Ca^{2+} o'rniga ikkita Na^+ keladi.

3. Kaltsiy karbonatning cho‘kishi:

Ajralgan Ca^{2+} ionlari eritmadagi CO_3^{2-} bilan reaksiyaga kirishib, CaCO_3 (kaltsit) cho‘kmasini hosil qiladi.

4. Natijaviy o‘zgarish: Almashinuv kompleksida Na^+ ustunlik qila boshlaydi, bentonit natriyli xususiyatlar kasb etadi.

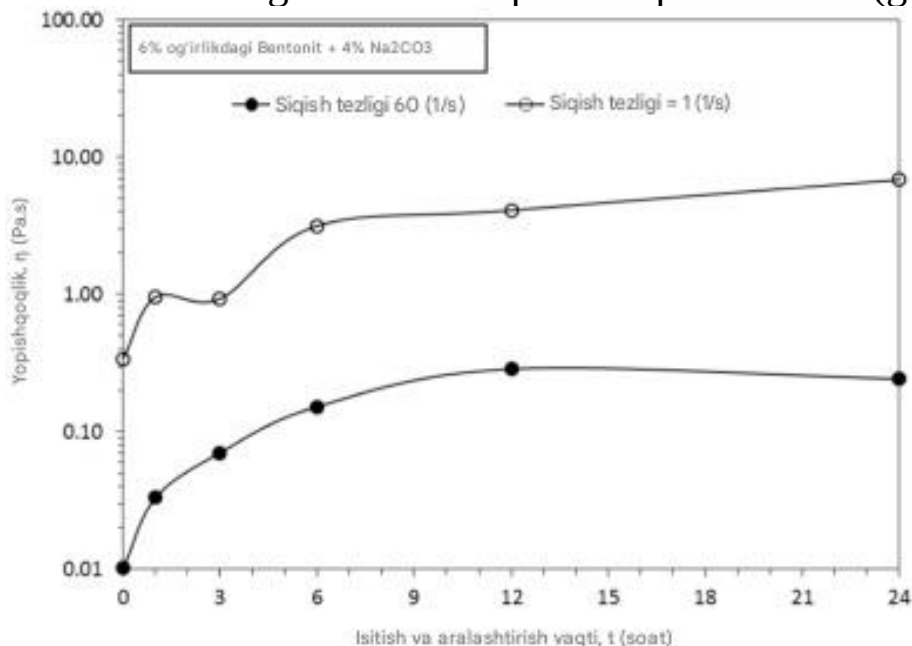
Soda aktivatsiyasiga ta’sir etuvchi omillar

Soda miqdori aktivatsiya samaradorligiga eng kuchli ta’sir ko‘rsatadi.

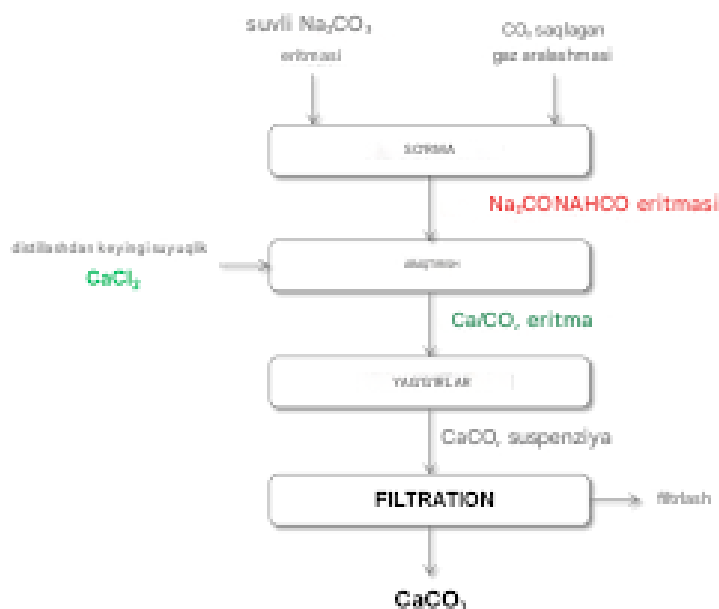
46-jadval. Soda miqdorining bentonit xossalariga ta’siri (Nurlat bentoniti misolida) [Buntin, 2021]

Soda miqdori, %	KAS, mg-ekv/100g	Shishish, ml/2g	Oquvchanlik chegarasi, Pa	Izoh
0 (tabiiy)	85	10	5	Ca-bentonit
1	90	15	12	Qisman almashgan
2	98	22	25	O‘rtacha
3	105	28	38	Yaxshi
4	108	30	42	Optimal
5	107	29	40	Ortiqcha
6	105	27	35	Juda ortiqcha

40-rasm. Haroratning shishish va qovushoqlikka ta’siri (grafik)



40-rasmda haroratga bog‘liq shishish va qovushoqlik o‘zgarishi grafigi ko‘rsatilgan.



41-rasmda Ca^{2+} ning Na^+ ga almashinishi va CaCO_3 cho'kmasining hosil bo'lishi sxematik ko'rsatilgan.

Tahlil:

Soda miqdori 0% dan 4% gacha ortganda shishish va qovushoqlik keskin ortadi

4% soda optimal qiymat hisoblanadi

4% dan yuqori soda miqdorida xossalar yomonlashadi (ortiqcha soda zarrachalarni flokulyatsiyalaydi)

Namlik ion almashinish jarayoni uchun zarur muhit hisoblanadi.

Past namlik (<20%): Ion almashinish sekin va to'liq emas

Optimal namlik (30-40%): Ion almashinish tez va to'liq

Yuqori namlik (>50%): Ortiqcha suv soda konsentratsiyasini pasaytiradi

Soda aktivatsiyasi odatda bentonitning tabiiy namligida (25-35%) amalga oshiriladi.

Harorat ion almashinish tezligiga ta'sir qiladi.

· 20-30°C: Jarayon sekin (bir necha kun talab etiladi)

· 50-70°C: Jarayon tezlashadi (bir necha soat)

· 80-100°C: Jarayon juda tez (30-60 daqiqa), ammo suv bug'lanishi muammo tug'dirishi mumkin

Aralashtirish intensivligi

Yaxshi aralashtirish soda va bentonit o'rtasida bir tekis taqsimlanishni ta'minlaydi va ion almashinishni tezlashtiradi.

**47-jadval. Aralashtirish vaqtining soda aktivatsiyasi
samaradorligiga ta'siri**

Aralashtirish vaqti, min	KAS, mg- ekv/100g	Shishish, ml/2g	Izoh
5	92	18	To'liq bo'lmagan
15	100	24	O'rtacha
30	106	29	Yaxshi
60	108	30	Optimal
120	107	30	O'zgarmaydi

Soda aktivatsiyasi texnologiyasi

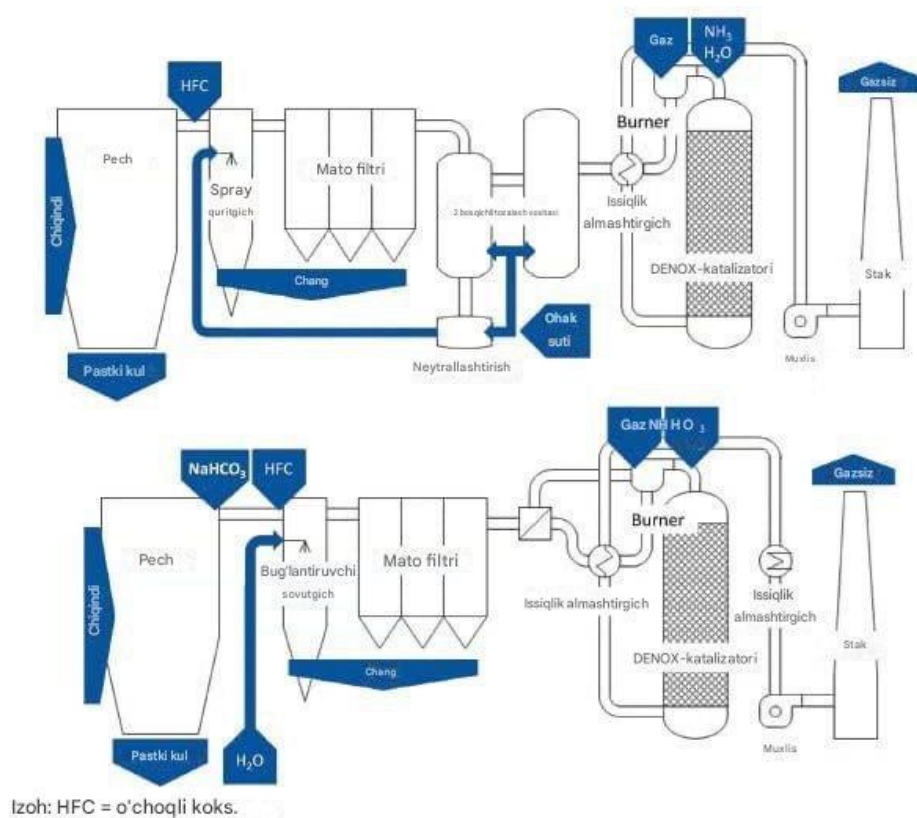
Soda aktivatsiyasi ikki xil usulda amalga oshirilishi mumkin: quruq va nam.

Quruq usul

1. Xom bentonitni maydalash: 5-10 mm gacha
2. Soda bilan aralashtirish: Kerakli miqdorda (odatda 3-5%) soda quruq holda qo'shiladi
3. Namlash: Aralashmaga 30-40% suv qo'shib, yaxshilab aralashtiriladi
4. "Qarish" (saqlash): 24-48 soat davomida nam holda saqlanadi (ion almashinishi uchun)
5. Quritish: 100-150°C da
6. Mayda maydalash: 200 mesh (75 mkm) gacha

Nam usul

1. Bentonit suspenziyasini tayyorlash: 10-20% li suvli suspenziya
2. Soda eritmasini qo'shish: Kerakli miqdordagi soda suvda eritilib, suspenziyaga qo'shiladi
3. Aralashtirish: 30-60 daqiqa davomida intensiv aralashtiriladi
4. Filtrlash va yuvish
5. Quritish va maydalash



42-rasm. Soda aktivatsiyasining texnologik sxemasi

Aktivatsiyalangan bentonitlarning xossalari

Soda aktivatsiyasi natijasida bentonitlarning xossalari sezilarli o'zgaradi.

48-jadval. Tabiiy va soda bilan aktivatsiyalangan kalsiyli bentonitlarning xossalari [Buntin, 2021; Murray, 2007]

Xossa	Tabiiy Ca-bentonit	Aktivatsiyalangan Na-bentonit	O'zgarish
Shishish indeksi, ml/2g	8-12	25-35	2-3 marta ortadi
pH (10% suspenziya)	6.5-8.0	8.5-10.0	Ishqoriy
Plastik qovushoqlik, mPa·s	5-15	20-40	2-4 marta ortadi
Oquvchanlik chegarasi, Pa	2-5	10-25	3-5 marta ortadi
KAS, mg-ekv/100g	80-100	90-110	10-15% ortadi
Suv sig'imi, %	200-300	500-700	2-2.5 marta ortadi
Kolloidlik	Past	Yuqori	Sezilarli yaxshilanadi

Soda aktivatsiyasining kamchiliklari

1. Ortiqcha soda muammosi: Agar soda miqdori optimaldan yuqori bo'lsa, erkin soda qoladi. Bu keyingi ishlov berishda (masalan, quritishda) bentonit yuzasida kristallanib, xossalarni yomonlashtiradi.

2. Kaltsiy karbonat cho'kmasi: Hosil bo'lgan CaCO_3 bentonit tarkibida qoladi va uning tozaligini pasaytiradi.

3. Jarayonning uzoqligi: "Qarish" bosqichi tufayli ishlab chiqarish sikli uzayadi.

4. Suv sarfi: Nam usulda ko'p suv talab etiladi va oqova suvlar muammo tug'dirishi mumkin.

Soda aktivatsiyasining qo'llanilishi

Soda bilan aktivatsiyalangan bentonitlar quyidagi sohalarda ishlatiladi:

1. Burg'ilash eritmalari: Yuqori qovushoqlik va gel kuchi talab qilinadigan quduqlarda

2. Temir rudasini pelletlashtirish: Bog'lovchi sifatida

3. Quyish sanoati: Qoliplash qumlarida bog'lovchi

4. Hidroizolyatsiya: Bentonit matlari va boshqa muhrlovchi materiallar

5. Polimer nanokompozitlar: To'ldiruvchi sifatida

Mexanoaktivatsiya

Mexanoaktivatsiya – bentonitni yuqori energiyali tegirmonlarda maydalash va intensiv mexanik ta'sirga uchratish usuli bo'lib, uning fizik-kimyoviy xossalarni o'zgartiradi [Boldyrev, 2006; Buntin, 2021; Sartbayeva, 2023].

Mexanoaktivatsiyaning maqsadi

1. Zarrachalar o'lchamini kamaytirish: Nano-o'lchamli zarrachalar olish

2. Solishtirma yuzani oshirish: 800-1000 m^2/g gacha yetkazish

3. Strukturani buzish (amorfizatsiya): Kristall panjaraning qisman buzilishi

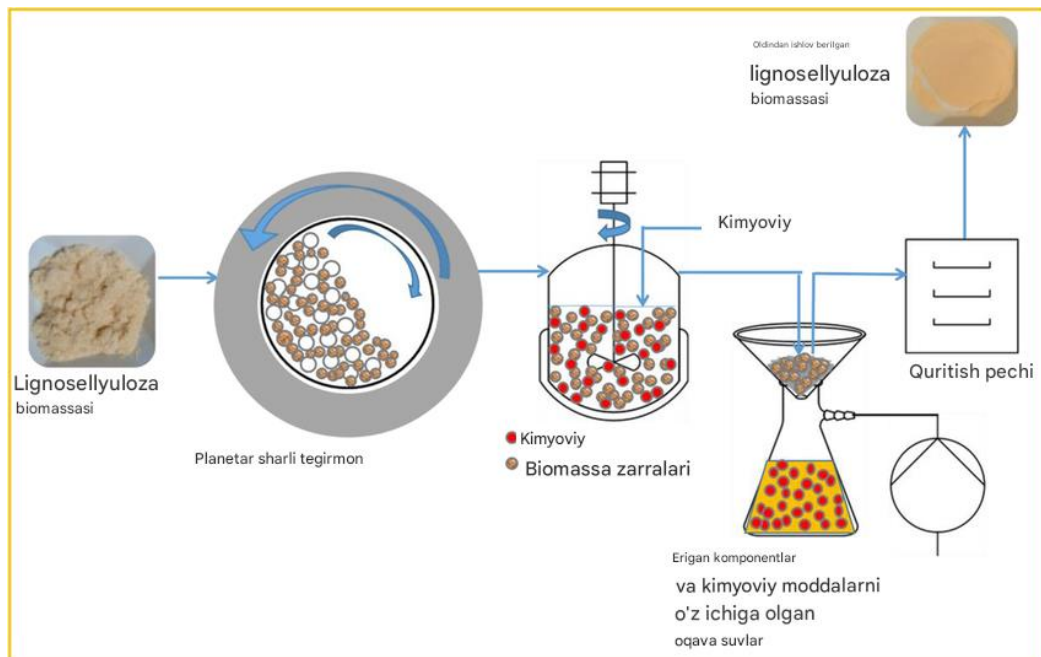
4. Reaksiyon faollikni oshirish: Kimyoviy reaksiyalar tezligining ortishi

5. Kompozit materiallar tayyorlash: Boshqa komponentlar bilan birgalikda maydalash

Mexanoaktivatsiya uskunalari

Planetar tegirmonlar

Eng keng tarqalgan mexanoaktivatsiya uskunasi. Ish prinsipi: tegirmon idishi o'z o'qi atrofida aylanadi va shu bilan birga quyosh diskida ham aylanadi. Natijada markazdan qochma kuchlar (10-100 g) hosil bo'ladi.



43-rasm. Planetar tegirmonning sxemasi

Vibratsion tegirmonlar

Vibratsiya ta'sirida sharlar harakatlanadi va materialni maydalaydi.

Деинтеграторлар

Yuqori tezlikda aylanuvchi rotorlar orasida material maydalanadi.

Sharli tegirmonlar

Oddiy, ammo energiya samaradorligi past.

49-jadval. Mexanoaktivatsiya uskunalarining qiyosiy tahlili

Uskuna turi	Energiya zichligi, W/g	Zarrachalar o'lchami, mkm	Ish unumdorligi	Narxi
Planetar tegirmon	10-100	0.05-10	Past	Yuqori
Vibratsion tegirmon	5-50	0.1-20	O'rtacha	O'rtacha
Dezintegrator	20-200	1-50	Yuqori	O'rtacha
Sharli tegirmon	1-10	10-100	O'rtacha	Past

Mexanoaktivatsiya parametrlarining ta'siri

Maydalash vaqti

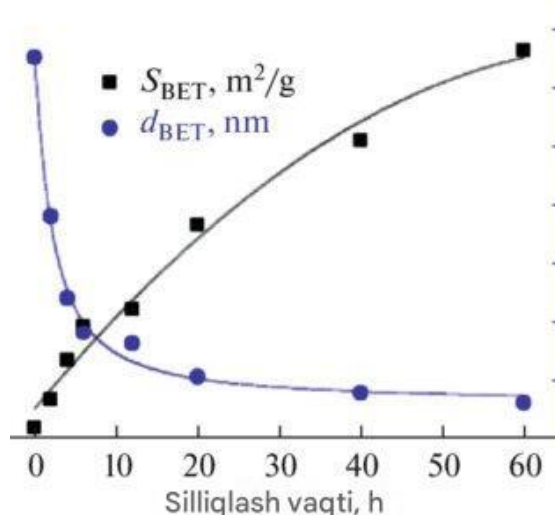
Maydalash vaqti ortishi bilan zarrachalar o'lchami kamayadi va amorfizatsiya darajasi ortadi.

50-jadval. Maydalash vaqtining Tagan bentoniti xossalari-ga ta'siri

[Sartbayeva, 2023]

Maydalash vaqti, min	Zarrachalar o'lchami, nm	S_{BET} , m^2/g	Amorfizatsiya darajasi, %
0 (boshlang'ich)	5000-10000	450	0
5	1000-2000	550	10
10	500-1000	650	20
20	200-500	750	35
30	100-300	820	50
60	50-200	850	60
120	30-150	800	65

44-rasm. Maydalash vaqtining zarrachalar o'lchami va S_{BET} ga ta'siri



44-rasmda silliqlash vaqtiga bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan.

Tahlil:

Dastlabki 30 daqiqada zarrachalar o'lchami keskin kamayadi va solishtirma yuza ortadi

30-60 daqiqada o'zgarishlar sekinlashadi

60 daqiqadan keyin solishtirma yuza pasayishi mumkin (zarrachalarning aglomeratsiyasi)

Aylanish tezligi ortishi bilan energiya zichligi ortadi va maydalash samaradorligi oshadi.

**51-jadval. Aylanish tezligining Tagan bentoniti xossalariga ta'siri
(30 daqiqa) [Sartbayeva, 2023]**

Aylanish tezligi, ayl/min	Zarrachalar o'lchami, nm	S _{BET} , m ² /g	Izoh
1000	1000-2000	520	Past
2000	500-1000	620	O'rtacha
3000	200-500	750	Yaxshi
4000	100-300	820	Optimal
5000	80-250	800	Aglomeratsiya
6000	70-250	780	Aglomeratsiya

Shar materiali va o'lchami

Sharlarning materiali va o'lchami ham maydalash samaradorligiga ta'sir qiladi.

52-jadval. Shar materialining maydalash samaradorligiga ta'siri

Shar materiali	Zichlik, g/sm ³	Qattqlik (Mohs)	Maydalash samaradorligi	Izoh
Chinni	2.3-2.5	7-8	O'rtacha	Ifoslantirmaydi
Po'lat	7.8	5-6	Yuqori	Temir bilan ifloslantiradi
Agat	2.6	7	O'rtacha	Toza, qimmat
Sirkoniy	5.7	7.5	Yuqori	Toza, juda qimmat

Mexanoaktivatsiyaning bentonit strukturasi va xossalariga ta'siri

Rentgenofazali tahlil (XRD)

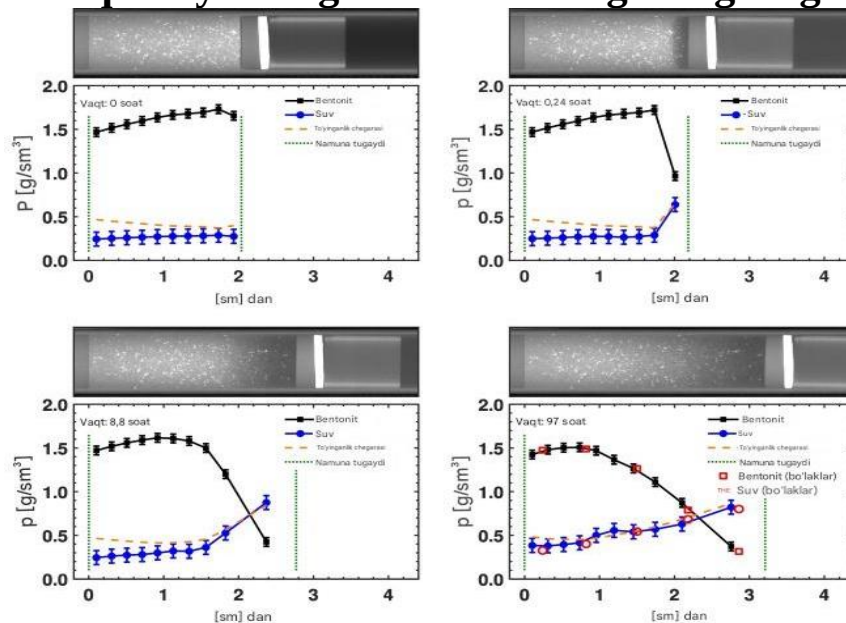
Mexanoaktivatsiya natijasida rentgenogrammada o'zgarishlar kuzatiladi:

Montmorillonitga xos cho'qqilar intensivligi pasayadi

Cho'qqilar kengayadi (zarrachalar o'lchamining kamayishi va mikrodeformatsiyalar)

Uzoq vaqt maydalanganda cho'qqilar butunlay yo'qolishi mumkin (amorfizatsiya)

45-rasm. Turli vaqt maydalangan bentonitning rentgenogrammalari



45-rasmda rentgenogrammalar solishtirilgan.

Solishtirma yuza va g'ovaklik

Mexanoaktivatsiya solishtirma yuzani oshiradi, ammo juda uzoq vaqt maydalash aglomeratsiya hisobiga uni pasaytirishi mumkin.

Kation almashinish sig'imi

Mexanoaktivatsiya KAS ga ikki xil ta'sir ko'rsatadi:

Dastlab: Zarrachalar o'lchami kamayishi hisobiga KAS ortadi (yangi yuzalar ochiladi)

Keyin: Struktura buzilishi hisobiga KAS pasayadi

53-jadval. Mexanoaktivatsiyaning KAS ga ta'siri

Maydalash vaqti, min	KAS, mg- ekv/100g	O'zgarish, %
0	85	0
10	92	+8
20	98	+15
30	95	+12
60	82	-4
120	65	-24

Reologik xususiyatlar

Mexanoaktivatsiya bentonit suspenziyalarining reologik xususiyatlarini o'zgartiradi:

Qovushoqlik va oquvchanlik chegarasi ortadi (zarrachalar o'lchami kamayishi hisobiga)

Juda uzoq maydalashda qovushoqlik pasayishi mumkin (strukturaning buzilishi)

Termik xususiyatlar

Mexanoaktivatsiya termik barqarorlikni pasaytiradi:

Degidroksillanish harorati pastga siljiydi (struktura zaiflashgani uchun)

DTA cho‘qqilari kengayadi va intensivligi pasayadi

Nanobentonit olish

Mexanoaktivatsiya yordamida nano-o‘lchamli bentonit zarrachalari (nanobentonit) olish mumkin. Nanobentonit oddiy bentonitga nisbatan yuqori xossalarga ega:

Solishtirma yuza: 800-1000 m²/g

KAS: 120-150 mg-ekv/100g

Yuqori sorbsion qobiliyat

Polimerlar bilan yaxshi aralashadi

54-jadval. Oddiy va nanobentonitning qiyosiy xossalari

Xossa	Oddiy bentonit	Nanobentonit
Zarrachalar o‘lchami, nm	1000	20-200
S _{BET} , m ² /g	400-600	800-1000
KAS, mg-ekv/100g	80-100	120-150
Pb ²⁺ sorbsiyasi, mg/g	50-80	100-150
Polimerlarda disperslanish	Qiyin	Oson

Ultratovush bilan ishlov berish

Ultratovush (UZ) – yuqori chastotali (20 kHz dan yuqori) tovush to‘lqinlarining moddaga ta’siriga asoslangan fizik usul [Suslick, 1990; Sartbayeva, 2023; Buntin, 2021].

Ultratovushning ta’sir mexanizmi

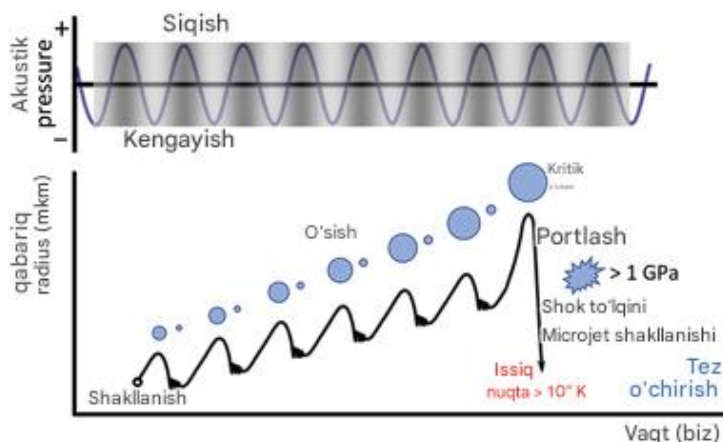
Ultratovushning asosiy ta’sir mexanizmi – kavitatsiya. Kavitatsiya jarayoni quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Pufakchalar hosil bo‘lishi: Suyuqlikda manfiy bosim ta’sirida mayda gaz pufakchalari hosil bo‘ladi.

2. Pufakchalarning o‘sishi: Pufakchalar tovush to‘lqinlari ta’sirida kattalashadi.

3. Pufakchalarning yorilishi: Pufakchalar kritik o‘lchamga yetganda yoriladi va mahalliy yuqori harorat (5000 K gacha) va bosim (1000 atm gacha) hosil qiladi.

4. Zarba to'liqlari: Pufakchalar yorilganda hosil bo'lgan zarba to'liqlari qattiq zarrachalarni maydalaydi va dispersiyalaydi.



46-rasmda Kavitatsiya pufakchalarining hosil bo'lishi va yorilishi sxematik ko'rsatilgan.

Ultratovush bilan ishlov berish parametrlari

Chastota

Past chastota (20-100 kHz): Kuchli mexanik ta'sir, maydalash va dispersiyalash uchun

Yuqori chastota (100 kHz-1 MHz): Kimyoviy reaksiyalarni qo'zg'atish uchun

Bentonitlarni dispersiyalash uchun odatda 20-40 kHz chastota qo'llaniladi.

Quvvat (intensivlik)

Quvvat ortishi bilan kavitatsiya kuchayadi va dispersiya samaradorligi ortadi. Odatda 50-500 Vt quvvat qo'llaniladi.

Ishlov berish vaqti

Vaqt ortishi bilan dispersiya darajasi ortadi, ammo juda uzoq vaqt ishlov berish zarrachalarning aglomeratsiyasiga olib kelishi mumkin.

55-jadval. UZ ishlov berish vaqtining Tagan bentoniti dispersiyasiga ta'siri [Sartbayeva, 2023]

UZ vaqti, min	Zarrachalar o'lchami, mkm	Suspenziya barqarorligi	Izoh
0	10-50	Past (tez cho'kadi)	Boshlang'ich
2	5-20	O'rtacha	Qisman dispers
5	2-10	Yuqori	Yaxshi dispers
10	1-5	Juda yuqori	Optimal

20	0.5-3	Juda yuqori	Juda mayda
30	0.5-5	O'rtacha	Aglomeratsiya boshlangan

Ultratovushning bentonit xossalriga ta'siri

Disperslik va zarrachalar o'lchami

Ultratovush bentonit agregatlarini maydalab, zarrachalar o'lchamini keskin kamaytiradi.

Solishtirma yuza

Zarrachalar o'lchami kamayishi bilan solishtirma yuza ortadi.

56-jadval. UZ ishlov berishning Tagan bentoniti solishtirma yuzasiga ta'siri

UZ vaqti, min	S _{BET} , m ² /g	O'zgarish, %
0	450	0
5	520	+16
10	580	+29
15	610	+36
20	600	+33

Reologik xususiyatlar

UZ ishlov berilgan bentonit suspenziyalari yuqori qovushoqlik va barqarorlikka ega.

Kolloid barqarorlik

UZ ishlov berish suspenziyalarning kolloid barqarorligini oshiradi (zarrachalar cho'kishi sekinlashadi).

Ultratovush va kimyoviy modifikatsiyaning kombinatsiyasi

Ultratovush kimyoviy modifikatsiya jarayonlarini tezlashtirish va samaradorligini oshirish uchun qo'llanilishi mumkin [Sartbayeva, 2023].

57-jadval. UZ ning kislotali aktivatsiyaga ta'siri

Usul	Al ₂ O ₃ ekstraktsiyasi, %	Vaqt, min	Izoh
Oddiy aktivatsiya	85	60	90°C
UZ + aktivatsiya	92	30	50°C

Tahlil: Ultratovush kislotali aktivatsiya jarayonini tezlashtiradi va past haroratlarda ham yuqori samaradorlikka erishish imkonini beradi.

Termik aktivatsiya

Termik aktivatsiya – bentonitni yuqori haroratlarda qizdirish orqali uning xossalarini o‘zgartirish usuli [Grim, 1968; Panasyugin, 2022].

Termik aktivatsiyaning maqsadi

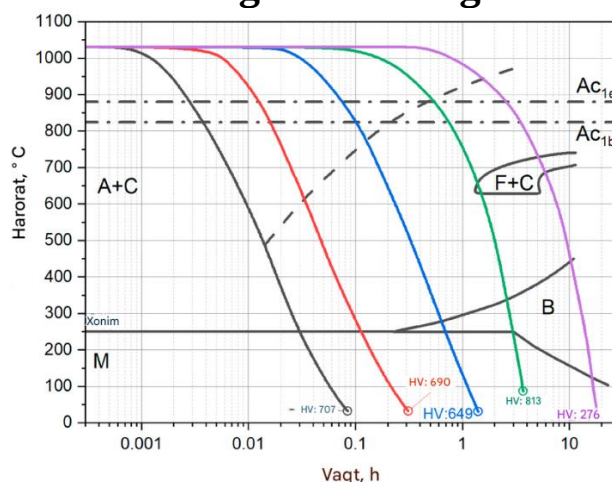
1. Suvni chiqarish: Adsorbsion va konstitutsion suvni olib tashlash
2. G‘ovaklikni oshirish: Suv chiqqandan keyin g‘ovaklar hosil bo‘ladi
3. Faza o‘zgarishlari: Yangi minerallar (mullit, shpinel) hosil qilish
4. Kislotali markazlar hosil qilish: Katalitik faollikni oshirish
5. Mexanik mustahkamlikni oshirish: Keramika va qurilish materiallari uchun

Harorat oralig‘iga qarab o‘zgarishlar

58-jadval. Harorat oralig‘iga qarab bentonitdagi o‘zgarishlar

Harorat oralig‘i, °C	Jarayon	O‘zgarishlar
20-200	Adsorbsion suv chiqishi	Massa 5-15% kamayadi, paketlar yaqinlashadi
200-400	Interlayer suvining to‘liq chiqishi	d001 1.0 nm gacha kamayadi
400-600	Degidroksillanish boshlanishi	OH guruhlarini chiqarib boshlaydi, struktura buziladi
600-800	Degidroksillanish	OH guruhlarining asosiy qismi chiqadi, amorfizatsiya
800-1000	Yangi fazalar hosil bo‘lishi	Shpinel, mullit, kristobalit hosil bo‘ladi
1000	Eritish va sinterlash	Keramika materiallari

47-rasm. Bentonitning termik o'zgarishlar diagrammasi



47-rasmda haroratga bog'liq faza o'zgarishlari ko'rsatilgan.

Termik aktivatsiyaning bentonit xossalriga ta'siri

Solishtirma yuza

Termik aktivatsiya solishtirma yuzaga ikki xil ta'sir ko'rsatadi:

200-400°C: Suv chiqishi hisobiga g'ovaklik va solishtirma yuza ortadi

400-600°C: Degidroksillanish natijasida struktura buziladi, g'ovaklar yiriklashadi, solishtirma yuza pasayadi

600-800°C: Amorfizatsiya va sinterlash solishtirma yuzani keskin pasaytiradi

59-jadval. Haroratning bentonit solishtirma yuzasiga ta'siri

Harorat, °C	S _{BET} , m ² /g	O'zgarish
20 (tabiiy)	500	—
200	550	+10%
400	480	-4%
600	350	-30%
800	150	-70%
1000	50	-90%

Kation almashinish sig'imi

Harorat ortishi bilan KAS keskin kamayadi, chunki almashinuvchi kationlar strukturada fiksatsiyalanadi va suv chiqib ketadi.

60-jadval. Haroratning bentonit KAS ga ta'siri

Harorat, °C	KAS, mg-ekv/100g	O'zgarish, %
20	85	0
200	70	-18
400	40	-53
600	15	-82
800	5	-94

Reologik xususiyatlar

Yuqori haroratlarda qizdirilgan bentonit suvda shishish qobiliyatini yo'qotadi va reologik xususiyatlari yomonlashadi.

Kislotali markazlar

400-600°C oralig'ida degidroksillanish natijasida Lyuis kislotali markazlari (koordinatsion to'yinmagan Al) hosil bo'ladi.

Keramzit ishlab chiqarish

Keramzit – bentonit va boshqa gillarni yuqori haroratda (1100-1200°C) qizdirib, ko'pirtirish natijasida olinadigan yengil to'ldiruvchi material [Buntin, 2021].

Keramzit olish texnologiyasi:

1. Xom ashyoni tayyorlash: Bentonite + qo'shimchalar (mazut, torf)
2. Granulyatsiya: 5-20 mm diametrli granulalar tayyorlash
3. Quritish: 100-200°C
4. Kuydirish: 1100-1200°C (aylanuvchi pechlarda)
5. Sovutish

61-jadval. Keramzitning xossalari

Xossa	Qiymat
Zichlik, kg/m ³	300-800
G'ovaklik, %	60-80
Issiqlik o'tkazuvchanlik, Vt/m·K	0.1-0.2
Sovuqqa chidamlilik, sikl	50

Mikroto'lqinli ishlov berish

Mikroto'lqinli (SVCh) ishlov berish – elektromagnit nurlanish (300 MHz-300 GHz) yordamida materialni qizdirish va modifikatsiyalash usuli [Buntin, 2021; Panasyugin, 2022].

Mikroto'lqinli ishlov berishning afzalliklari

1. Tez qizdirish: Bir necha daqiqada yuqori haroratga erishish
2. Selektiv qizdirish: Suv va boshqa qutbli molekulalar tez qiziydi
3. Energiya tejamliligi: An'anaviy usullarga nisbatan 30-50% kam energiya sarfi
4. Bir xil qizdirish: Material hajmi bo'ylab bir tekis isiydi

Mikroto'lqinli ishlov berishning qo'llanilishi

Quritish

Bentonitni mikroto'lqinlarda quritish an'anaviy usullarga nisbatan tezroq va samaraliroq.

Kislotali aktivatsiyani tezlashtirish

Mikroto'ldinli nurlanish kislotali aktivatsiya jarayonini 2-3 marta tezlashtiradi.

Soda aktivatsiyasi

Mikroto'ldinli ishlov berish soda aktivatsiyasi vaqtini 24 soatdan 1-2 soatgacha qisqartirishi mumkin.

62-jadval. Mikroto'ldinli ishlov berishning soda aktivatsiyasiga ta'siri [Buntin, 2021]

Usul	Vaqt, soat	Shishish, ml/2g	Qovushoqlik, mPa·s
An'anaviy ("qarish")	24	30	40
Mikroto'ldinli (100°C)	1	32	45
Mikroto'ldinli (150°C)	0.5	28	38

Kombinatsiyalashgan aktivatsiya usullari

Eng yuqori samaradorlikka turli aktivatsiya usullarini kombinatsiyalash orqali erishish mumkin.

Mexano-kislotali aktivatsiya

Bentonitni avval mexanoaktivatsiyalash, so'ngra kislota bilan ishlash.

Afzalliklari:

Kislota sarfi 20-30% kamayadi

Aktivatsiya vaqti qisqaradi

Solishtirma yuza 20-30% yuqori

Termo-kislotali aktivatsiya

Avval termik (200-300°C), so'ngra kislotali aktivatsiya.

UZ-kislotali aktivatsiya

Ultratovush va kislota bilan bir vaqtda ishlash [Sartbayeva, 2023].

Soda-ultratovush aktivatsiyasi

Soda aktivatsiyasini ultratovush bilan tezlashtirish.

63-jadval. Kombinatsiyalashgan aktivatsiya usullarining samaradorligi

Usul	S_{BET} , m ² /g	KAS, mg-ekv/100g	Shishish, ml/2g	Vaqt, min
Faqat kislota	450	30	10	60
Faqat mexano	750	95	25	60

Mexano + kislota	650	45	18	30
UZ + kislota	550	35	15	30
Soda	500	105	30	1440
Soda + UZ	520	108	32	60

Aktivatsiya usullarini tanlash mezonlari

Aktivatsiya usulini tanlash quyidagi omillarga bog'liq:

1. Bentonitning turi va tarkibi: Natriyli yoki kalsiyli, montmorillonit miqdori
2. Maqsadli mahsulot: Sorbent, katalizator, burg'ilash eritmasi, keramzit va h.k.
3. Iqtisodiy ko'rsatkichlar: Energiya sarfi, reagentlar narxi, uskunalar narxi
4. Ekologik talablar: Oqova suvlar, gaz chiqindilari
5. Ishlab chiqarish hajmi: Kichik yoki yirik tonnajli ishlab chiqarish

64-jadval. Turli maqsadlar uchun aktivatsiya usullarini tanlash

Maqsad	Tavsiya etiladigan usul	Izoh
Yuqori sifatli sorbent	Kislotali + UZ	Yuqori S_{BET}
Burg'ilash eritmasi	Soda	Yuqori qovushoqlik
Katalizator tashuvchi	Kislotali	Kislotali markazlar
Quyish qoliplari	Soda	Yuqori bog'lovchilik
Polimer nanokompozitlar	Mexano + organik	Nano-o'lcham, organofillik
Keramzit	Termik (1100°C)	Ko'pirtirish

Xulosa va tendensiyalar.

1. Soda aktivatsiyasi – kalsiyli bentonitlarni natriyli bentonitlarga aylantirishning asosiy usuli. Optimal soda miqdori 3-5%, namlik 30-40%, harorat 50-70°C.

2. Mexanoaktivatsiya – bentonitning zarrachalar o'lchamini kamaytirish, solishtirma yuzani oshirish va reaksiyon faolligini oshirish uchun samarali usul. Planetar tegirmonlarda 30-60 daqiqa maydalash optimal.

3. Ultratovush bilan ishlov berish – bentonit agregatlarini maydalash, suspenziyalarni barqarorlashtirish va kimyoviy reaksiyalarni tezlashtirish imkonini beradi. Optimal chastota 20-40 kHz, vaqt 10-20 daqiqa.

4. Termik aktivatsiya – suvni chiqarish, g'ovaklikni oshirish va yangi fazalar hosil qilish uchun qo'llaniladi. 200-400°C da suv chiqadi, 400-600°C da degidroksillanish sodir bo'ladi.

5. Kombinatsiyalashgan usullar eng yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Mexano-kislotali, UZ-kislotali, soda-UZ kombinatsiyalari alohida qiziqish uyg'otadi.

6. Nanobentonit – mexanoaktivatsiya yordamida olinadigan yuqori dispersli material (20-200 nm), yuqori solishtirma yuza (800-1000 m²/g) va sorbsion qobiliyatga ega.

7. Aktivatsiya usulini tanlash bentonit turiga, maqsadli mahsulotga va iqtisodiy omillarga bog'liq.

ORGANIK MODIFIKATSIYALASH VA ORGANOGILLAR

Ontonitlarni organik modifikatorlar bilan ishlash, organogillar olish, ularning xossalari va qo'llanilishi batafsil yoritiladi. Panasyugin, Togan Uskarcı va Sartbayeva tadqiqotlari asosida.

Ushbu bobda bentonitlarni organik modifikatorlar bilan ishlash, organogillar olish, ularning xossalari va qo'llanilishi batafsil yoritiladi. Organogillar – bu bentonitning almashinuvchi kationlari organik kationlar bilan almashgan, natijada gidrofob xususiyat kasb etgan materiallardir [Panasyugin, 2022; Togan, 2006; Sartbayeva, 2023]. Ushbu materiallar zamonaviy sanoat va texnologiyaning turli sohalarida, xususan, organik ifloslantiruvchilarni yutish, polimer nanokompozitlar ishlab chiqarish va reologik xossalarni boshqarishda keng qo'llaniladi.

Organogillarning umumiy tavsifi

Organogillar – bu tabiiy gilli minerallarning (asosan bentonit) organik modifikatorlar bilan ishlangan mahsulotidir. Modifikatsiya jarayonida bentonitning almashinuvchi noorganik kationlari (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) organik kationlar (asosan to'rtlamchi ammoniy birikmalari) bilan almashadi. Natijada materialning tabiati gidrofildan gidrofobga o'zgaradi [Murray, 2007; Panasyugin, 2022].

Asosiy xususiyatlari:

Gidrofob (suvni itaradi)

Organik erituvchilarda shishadi va disperslanadi

Organik moddalarni yuqori darajada yutadi

Polimerlar bilan yaxshi aralashadi

Yuqori termik barqarorlik (200-250°C gacha)

Organogillarning turlari

Organogillarni quyidagi guruhlariga bo'lish mumkin [Panasyugin, 2022]:

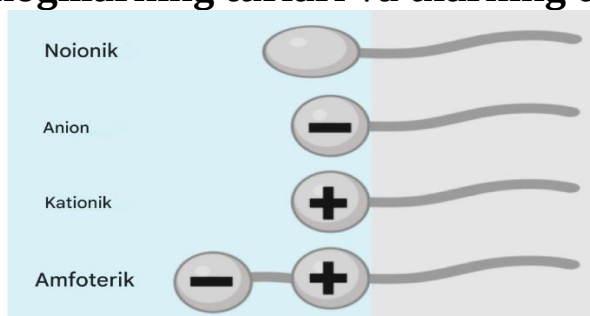
1. Kation almashinuviga asoslangan organogillar: Eng keng tarqalgan tur. Bentonitning almashinuvchi kationlari organik kationlar (alkilammoniy, alkilpiridiniy) bilan almashadi.

2. Anion almashinuviga asoslangan organogillar: Kam uchraydi. Anion sirt faol moddalar bilan modifikatsiyalash.

3. Nonionik organogillar: Qutbsiz organik molekulalarning interlayerda adsorbsiyasi.

4. Kovalent bog'langan organogillar: Organik moddalarning bentonit yuzasi bilan kovalent bog' hosil qilishi (silantlar yordamida).

48-rasm. Organogillarning turlari va ularning tuzilishi (sxema)



48-rasmida to‘rt turdagi organogillarning tasviri ko‘rsatilgan.

Organik modifikatorlar:

To‘rtlamchi ammoniy birikmalari

Eng keng tarqalgan organik modifikatorlar – to‘rtlamchi ammoniy birikmalari. Ularning umumiy formulasi:



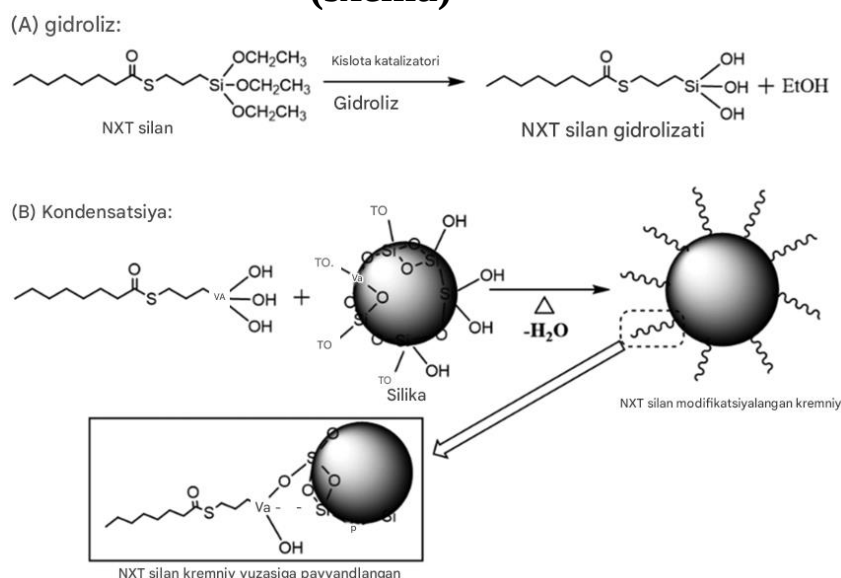
Bu yerda:

- R_1, R_2, R_3, R_4 – alkil yoki aril guruhlar (bir yoki bir nechta uzun zanjirli)
- X^- – anioni (odatda Cl^- , Br^-)

65-jadval. Keng tarqalgan to‘rtlamchi ammoniy birikmalari

Nom	Formula	Qisqartma	R zanjir uzunligi	Xususiyati
Setiltrimetilammoniy bromid	$C_{16}H_{33}N(CH_3)_3Br$	CTAB	C16	Keng tarqalgan, yuqori gidrofob
Dodesiltrimetilammoniy bromid	$C_{12}H_{25}N(CH_3)_3Br$	DTAB	C12	O‘rtacha gidrofob
Oktadesiltrimetilammoniy xlorid	$C_{18}H_{37}N(CH_3)_3Cl$	OTMAC	C18	Juda yuqori gidrofob
Dimetildioktadesilammoniy xlorid	$(C_{18}H_{37})_2N(CH_3)_2Cl$	DODMAC	2 x C18	Ikki zanjirli, yuqori termik barqaror
Benzilalkildimetilammoniy xlorid	$C_6H_5CH_2NR_2(CH_3)_2Cl$	BAC	C12-C18	Antibakterial

49-rasm. Silan birikmalarining bentonit yuzasi bilan reaksiyasi (sxema)



49-rasmda silanlarning gidrolizi va bentonit yuzasiga birikishi sxematik ko'rsatilgan.

Alkilsulfatlar va alkilsulfonatlar

Anion sirt faol moddalar, kamroq qo'llaniladi.

- Natriy dodesilsulfat (SDS, $\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$)
- Natriy dodesilbenzolsulfonat

Polimerik modifikatorlar

Yuqori molekulyar birikmalar, masalan:

- Polietilen glikol (PEG)
- Polivinil spirti (PVA)
- Poliakrilamid

Silan birikmalari

Bentonit yuzasi bilan kovalent bog' hosil qiladi [Sartbayeva, 2023]:

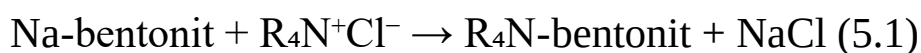
- 3-aminopropiltrimetoksisilan (APTMS)
- 3-metakriloksipropiltrimetoksisilan (MPTMS)
- Viniltrimetoksisilan (VTMS)

Organogillarni olish usullari

Ion almashinish usuli (asosiy usul)

Bu usul bentonitning almashinuvchi kationlarini organik kationlar bilan almashishga asoslangan [Panasyugin, 2022].

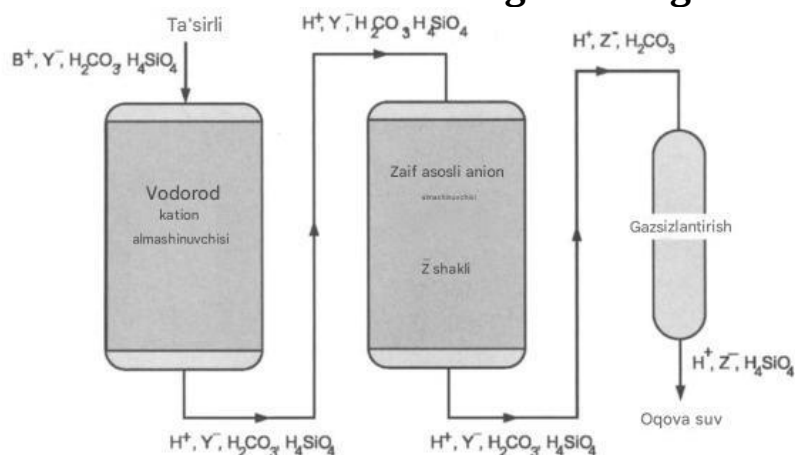
Reaksiya:



Texnologik sxema:

1. Bentonit suspenziyasini tayyorlash: 1-5% li suvli suspenziya (Na-bentonit yoki soda bilan aktivatsiyalangan Ca-bentonit)
2. Organik modifikator eritmasini tayyorlash: To'rtlamchi ammoniy tuzining suvli eritmasi (odatda 1-10% konsentratsiyada)
3. Ion almashinish: Bentonit suspenziyasiga organik modifikator eritmasi qo'shiladi va 60-80°C da 1-3 soat aralashtiriladi.
4. Cho'ktirish va filtrlash: Organogil cho'kmaga tushadi, filtrlash orqali ajratiladi.
5. Yuvish: Ortiqcha organik modifikator va hosil bo'lgan tuzlarni olib tashlash uchun suv bilan yuviladi.
6. Quritish: 60-100°C da quritiladi.
7. Maydalash: Kerakli disperslikkacha maydalanadi.

50-rasm. Ion almashinish usulining texnologik sxemasi



50-rasmda blok-sxema ko'rsatilgan.

66-jadval. Ion almashinish usuli parametrlarining ta'siri

Parametr	Optimal qiymat	Ta'siri
Bentonit konsentratsiyasi	2-5%	Yuqori konsentratsiyada almashinish to'liq emas
Organik modifikator miqdori	100-150%	KAS dan Ortig'i yuvish bilan chiqariladi
Harorat	60-80°C	Yuqori haroratda almashinish tezligi ortadi
Ph	7-9	Kislotali muhitda almashinish yomon
Vaqt	1-3 soat	Yetarli

Quruq usul (qattiq faza reaksiyasi)

Bu usulda bentonit va organik modifikator quruq holda aralashtiriladi, so'ngra ma'lum haroratda qizdiriladi [Ogawa, 1989].

Afzalliklari: Suv ishlatilmaydi, oqova suvlar bo'lmaydi, texnologiya sodda.

Kamchiligi: Almashinish to'liq emas, bir xil taqsimlanish qiyin.

Nam-kimyoviy usul

Bu usulda organik modifikator bentonitga singdiriladi va keyin qizdiriladi. Asosan polimerik modifikatorlar uchun qo'llaniladi.

Silanlash usuli [Sartbayeva, 2023]

Silan birikmalari bilan modifikatsiyalash quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Silan gidrolizi: $R-Si(OCH_3)_3 + 3H_2O \rightarrow R-Si(OH)_3 + 3CH_3OH$

2. Kondensatsiya: $R-Si(OH)_3 + HO\text{-bentonit} \rightarrow R-Si(OH)_2\text{-O-bentonit} + H_2O$

Sartbayeva [2023] tadqiqotlarida Tagan bentonitini 3-metakriloksipropiltrimetoksisilan (MPTMS) bilan silanlash o'rganilgan:

- Erituvchi tarkibi: Etanol : suv = 70:30 yoki 90:10
- pH: Kislotali (sirka kislota bilan)
- Harorat: 50-60°C
- Vaqt: 6 soat
- MPTMS miqdori: 2.5 g/10 g bentonit

Silanlash natijasida bentonitning organofilligi ortadi, u polimerlar bilan yaxshiroq aralasha boshlaydi.

Organogillarning tuzilishi va xossalari

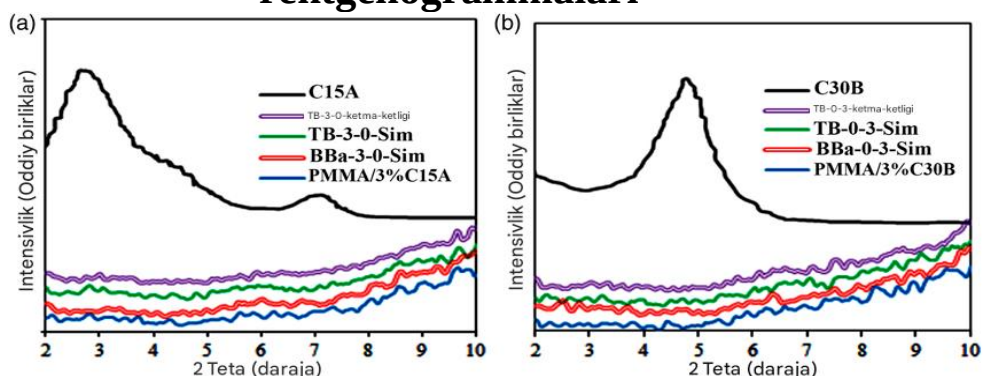
Rentgenofazali tahlil (XRD)

Organik modifikatorlarning interlayerda joylashishi rentgenogrammada d001 cho'qqisining siljishi bilan aniqlanadi [Panasyugin, 2022].

67-jadval. Organik modifikator ta'sirida d001 ning o'zgarishi

Namuna	d001, Å	Izoh
Tabiiy Na-bentonit	12.5	Bir qatlam suv
CTAB-bentonit (past konsentratsiya)	14.5	Yotgan molekulalar
CTAB-bentonit (o'rtacha konsentratsiya)	18.0	Qiya joylashgan
CTAB-bentonit (yuqori konsentratsiya)	22.0	Ikki qatlamli (parafin tipi)
DODMAC-bentonit	25-30	Ikki zanjirli, uzun

51-rasm. Turli konsentratsiyali organogillarning rentgenogrammalari



51-rasmda rentgenogrammalar solishtirilgan.

Organik kationlarning joylashishi ularning o'lchamiga va konsentratsiyasiga bog'liq:

1. Monoslayn (yotgan) joylashish: Past konsentratsiyalarda, alkil zanjirlari interlayer yuzasiga parallel.
2. Bilayer (ikki qatlam) joylashish: O'rtacha konsentratsiyalarda, alkil zanjirlari bir-biriga tegib turadi.
3. Parafin tipidagi joylashish: Yuqori konsentratsiyalarda, alkil zanjirlari qatlam yuzasiga perpendikulyar yoki qiya joylashadi.

Infraqizil spektroskopiya (FT-IR)

Organik modifikatorlarning mavjudligi IQ-spektrlarda yangi yutilish polosalari bilan tasdiqlanadi.

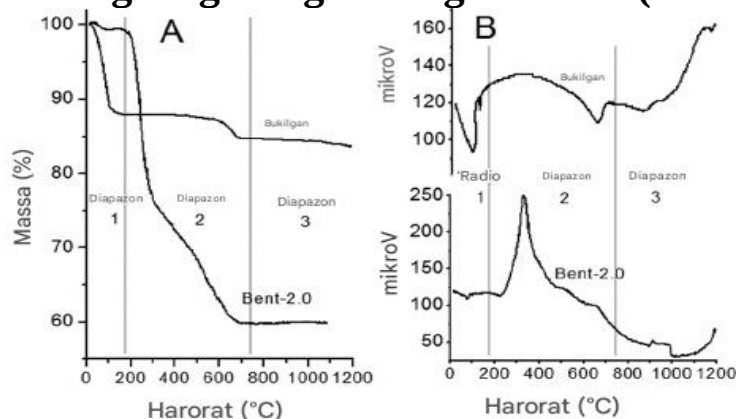
68-jadval. Organogillarning IQ-spektridagi xarakteristik yutilish polosalari

To'lqin soni, sm^{-1}	Bog'lanish turi	Izoh
3600-3200	OH (suv)	Suv miqdori kamayadi
2950-2850	C-H (CH_3 , CH_2)	Alkil zanjirlari
1470-1465	C-H deformatsion	Alkil zanjirlari
1380-1370	C-H (CH_3)	—
720-710	CH_2 (uzun zanjir)	Zanjir uzunligi > 4

Termik xususiyatlar

Organogillarning termik barqarorligi 200-250°C gacha, undan yuqori haroratlarda organik modifikator parchalanadi [Panasyugin, 2022].

53-rasm. Organogilning termogrammasi (TGA/DTA)



53-rasmda termogramma ko'rsatilgan.

69-jadval. Organogillarning termik parchalanish bosqichlari

Harorat oralig'i, °C	Jarayon	Massa yo'qotilishi, %
50-150	Suvning chiqishi	2-5
200-400	Organik modifikatorning parchalanishi	10-30
400-600	Qoldiq organik moddaning parchalanishi	5-10
600	Strukturaning buzilishi	—

Organogillarning gidrofoblighi

Organogillarning gidrofoblighi suv va organik erituvchilardagi xatti-harakati bilan baholanadi.

70-jadval. Turli organogillarning gidrofoblik ko'rsatkichlari

Namuna	Suvdagi shishish, ml/2g	Benzoldagi shishish, ml/2g	Gidrofoblik indeksi*
Tabiiy bentonite	25	0	0
CTAB-bentonit (C12)	5	15	0.75
CTAB-bentonit (C16)	3	20	0.87

DODMAC-bentonit	2	25	0.93
Silanlangan bentonit	8	12	0.60

*Gidrofoblik indeksi = (shishish organik)/(shishish organik + shishish suv)

Sorbsion xususiyatlar

Organogillar organik moddalarni yuqori darajada yutadi, suv va gidrofil moddalarni esa yomon yutadi.

71-jadval. Organogillarning sorbsion sig'imi [Panasyugin, 2022]

Modda	Tabiiy bentonit, mg/g	CTAB-bentonit, mg/g	DODMAC-bentonit, mg/g
Fenol	5-10	15-25	20-30
Benzol	0	30-50	40-60
Toluen	0	40-60	50-80
Neft mahsulotlari	10-20	100-200	150-250
Pb ²⁺	80	20	15
Suv bug'i	200-300	50-100	30-50

Organogillarning turlari va ularning xususiyatlari

Alkiammoniyli organogillar

Eng keng tarqalgan tur. Alkil zanjiri uzunligiga qarab xossalari o'zgaradi.

72-jadval. Alkil zanjiri uzunligining organogil xossalariga ta'siri

Modifikator	d001, Å	Termik barqarorlik, °C	Gidrofoblik	Qo'llanilishi
C12	14-16	200	O'rtacha	Sorbent, reologiya
C14	16-18	220	O'rtacha-yuqori	Sorbent, kompozitlar
C16	18-22	240	Yuqori	Kompozitlar, kosmetika
C18	20-25	250	Juda yuqori	Neft mahsulotlari sorbenti

Setilpiridiniyli organogillar [Panasyugin, 2022]

Setilpiridiniy bromid (CPB) bilan modifikatsiyalangan organogillar alohida xususiyatlarga ega: antibakterial faollik, fenol va boshqa aromatik birikmalarni yutishda yuqori selektivlik.

73-jadval. Setilpiridiniy bromid miqdorining organogil xossalriga ta'siri [Panasyugin, 2022]

CPB miqdori, mmol/g	d001, Å	S _{BET} , m ² /g sorbsiyasi, mg/g	Yod bo'yicha sorbsiya, mg/g	Fenol
0 (Fe-ustunli)	16.3	124	44	0
1	17.5	90	135	1.2
3	18.2	48	162	1.8
5	19.1	40	174	2.5
8	19.8	30	170	2.4
10	20.2	26	180	2.5

Tahlil:

CPB miqdori ortishi bilan d001 ortadi (interlayer kengayadi)

S_{BET} kamayadi (organik modda g'ovaklarni to'ldiradi)

Yod va fenol sorbsiyasi ortadi (organofillik hisobiga)

5 mmol/g optimal konsentratsiya

Ikki zanjirli organogillar (DODMAC)

Ikki uzun alkil zanjiri bo'lgan organogillar yuqori gidrofoblik va termik barqarorlikka ega. Ular neft mahsulotlarini yutishda va polimer nanokompozitlar ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

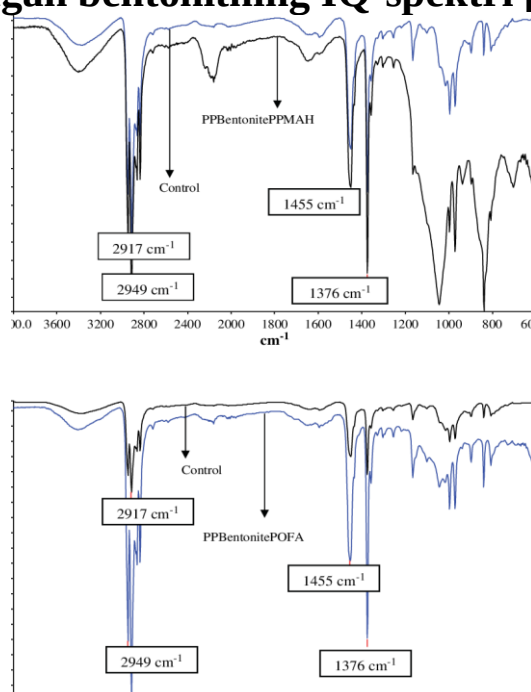
Silanlangan bentonitlar [Sartbayeva, 2023]

Silan birikmalari bilan modifikatsiyalash natijasida bentonit yuzasida organik qatlam hosil bo'ladi. Bu materiallar polimerlar bilan yaxshi aralashadi va ular asosida kompozit materiallar olish imkonini beradi.

74-jadval. Silanlangan Tagan bentonitining xossalari [Sartbayeva, 2023]

Namuna	d001, Å	S _{BET} , m ² /g	Termik barqarorlik, °C	Polimerdagi disperslanish
Tabiiy bentonit	12.5	450	500	Yomon
MPTMS-silanlangan (70:30)	14.3	380	300	Yaxshi
MPTMS-silanlangan (90:10)	14.3	390	300	Yaxshi

54-rasm. Silanlangan bentonitning IQ-spektri [Sartbayeva, 2023]



54-rasmda silanlangan bentonitning IQ-spektri ko‘rsatilgan.

Organogillarning qo‘llanilishi

Organogillar sanoat va texnologiyaning turli sohalarida keng qo‘llaniladi.

Sorbentlar va ekologik tozalash [Panasyugin, 2022; Ismatov, Donayev, 2025]

Organogillar suv va havodan organik ifloslantiruvchilarni (neft mahsulotlari, fenol, pestitsidlar, bo‘yoqlar) yutishda yuqori samaradorlik ko‘rsatadi.

75-jadval. Organogillarning organik ifloslantiruvchilarni yutish qobiliyati

Ifloslantiruvchi	Tabiiy bentonit, mg/g	CTAB-bentonit, mg/g	Izoh
Neft	50	400	8 marta yuqori
Fenol	5	25	5 marta yuqori
Benzol	0	50	—
Toluol	0	70	—
Metilen ko‘ki	50	200	4 marta yuqori

Ismatov va Donayev [2025] ma'lumotlariga ko'ra, bentonit va uning modifikatsiyalangan shakllari quyidagi sohalarda samarali qo'llaniladi:

Neft-gaz sanoati: Burg'ilash eritmalarida reologik xossalarni boshqarish, quduq devorlarini mustahkamlash

Qurilish materiallari: Beton va sement qo'shimchalari sifatida mustahkamlikni oshirish

Qishloq xo'jaligi: Tuproq strukturasi va suv saqlash qobiliyatini yaxshilash

Farmatsevtika: Enterosorbentlar, dori vositalarida stabilizatorlar

Oziq-ovqat sanoati: Yog'lar va vinolarni tozalash

Ekologiya: Og'ir metallar va organik ifloslantiruvchilarni yutish

76-jadval. O'zbekiston bentonitlarining qo'llanilish sohalari

[Ismatov, Donayev, 2025]

Soha	Qo'llanilishi	Samaradorlik
Neft-gaz sanoati	Burg'ilash eritmaları	Qovushoqlikni 2-3 barobar oshiradi
Qurilish	Beton qo'shimchasi	Mustahkamlik 15-20% ortadi
Qishloq xo'jaligi	Tuproq melioranti	Hosildorlik 10-15% ortadi
Ekologiya	Og'ir metallar sorbenti	80-95% tozalash

Polimer nanokompozitlar [Sartbayeva, 2023]

Organogillar polimer matritsalarida to'ldiruvchi sifatida ishlatiladi. Ular polimerlarning mexanik, termik va to'siq xususiyatlarini yaxshilaydi.

Sartbayeva [2023] tadqiqotlarida akril kislota hosilalari, agar-agar va modifikatsiyalangan bentonit asosida gidrogellar sintez qilingan:

- GEA-AA-BGU: 2-gidroksietilakrilat + agar-agar + ultratovush bilan faollashtirilgan bentonit

- GEA-AAm-AA-BGS: 2-gidroksietilakrilat + akrilamid + agar-agar + silanlangan bentonit

77-jadval. Bentonit-polimer gidrogellarning xossalari

[Sartbayeva, 2023]

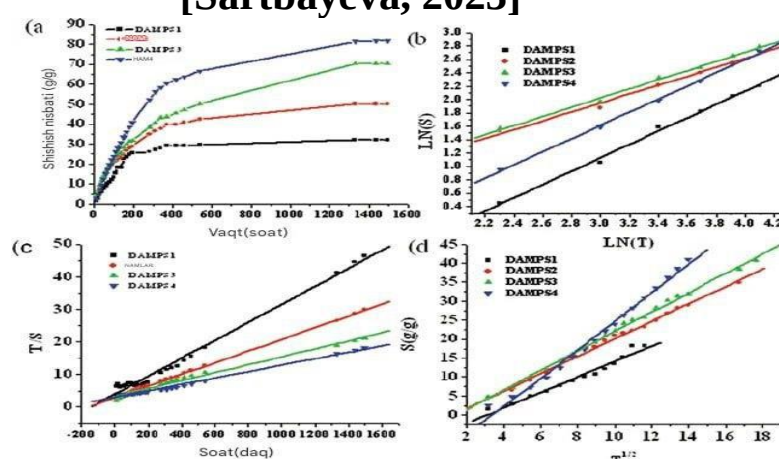
Namuna	Shishish darajasi, g/g	Fe ³⁺ sorbsiyasi, mg/g	Termik barqarorlik, °C
Bentonitsiz polimer	5	0	200
5% bentonit	7	15	220

10% bentonit	6	25	230
5% silanlangan bentonit	8	30	240

Asosiy xulosalar:

- Bentonit qo‘shilishi polimerlarning shishish va sorbsion xossalarini oshiradi
- Silanlangan bentonit polimer bilan yaxshi aralashadi va yuqori xossalar beradi
- Kompozitlar tuproq tuzilishini yaxshilaydi va o‘simliklar o‘sishiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi

55-rasm. Bentonit-polimer gidrogellarning shishish kinetikasi [Sartbayeva, 2023]



55-rasmda shishish kinetikasi grafigi ko‘rsatilgan.

Burg‘ilash eritmalari (organobentonitlar) [Togan, 2006]

Organobentonitlar suv bo‘lmagan muhitlarda (neft, dizel, organik erituvchilar) burg‘ilash eritmalari tayyorlash uchun ishlatiladi. Ular yuqori qovushoqlik va gel kuchi beradi, quduq devorlarini mustahkamlaydi.

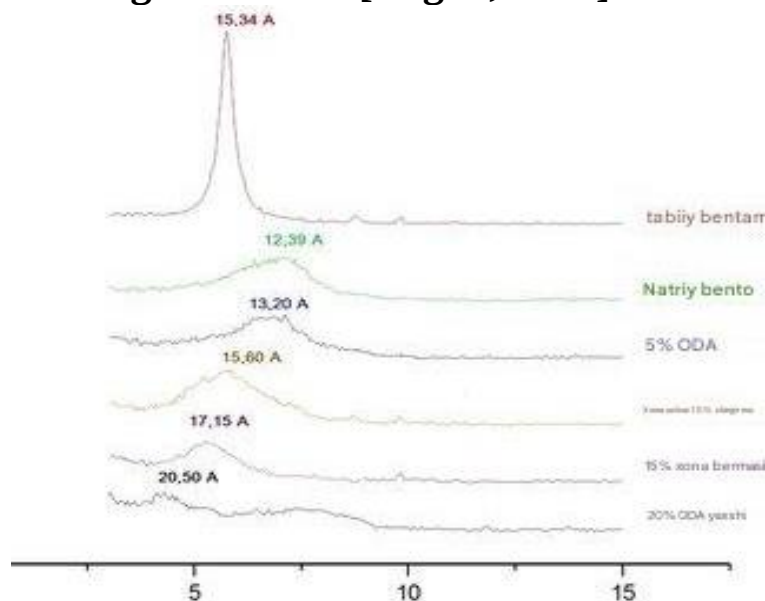
Togan Uskarcı [2006] tadqiqotlarida organobentonitlarning suv bo‘lmagan muhitlardagi reologik xususiyatlari o‘rganilgan:

78-jadval. Organobentonitlarning turli erituvchilardagi xossalari [Togan, 2006]

Erituvchi	Kritik konsentratsiya, funt/barrel	Maksimal qovushoqlik, cP	Izoh
Aseton	125-150	50	O‘rtacha
Metil-etil keton	175-200	80	Yuqori
n-Geksan	325-350	120	Juda yuqori

Dizel	200-250	100	Sanoatda keng qo'llaniladi
-------	---------	-----	----------------------------------

56-rasm. Organobentonitning turli erituvchilardagi reogrammali [Togan, 2006]



56-rasmida reogrammali ko'rsatilgan.

Kosmetika va farmatsevtika

Organogillar kosmetika (kremlar, niqoblar, losonlar) va farmatsevtika (malhamlar, suspenziyalar) tarkibiga quyidagi maqsadlarda qo'shiladi:

- Reologik xossalarni boshqarish (quyuqlashtiruvchi)
- Barqarorlashtiruvchi (emulsiyalarni)
- Detoksifikatsiya (enterosorbent sifatida)
- Antibakterial (setilpiridiniyli)

Bo'yoqlar va laklar

Organogillar bo'yoq va laklarda:

- Cho'kishni oldini oladi
- Yopishqoqlikni boshqaradi
- Mat qoplama hosil qiladi

Qog'oz sanoati

Organogillar qog'oz ishlab chiqarishda to'ldiruvchi va qoplama pigmenti sifatida ishlatiladi.

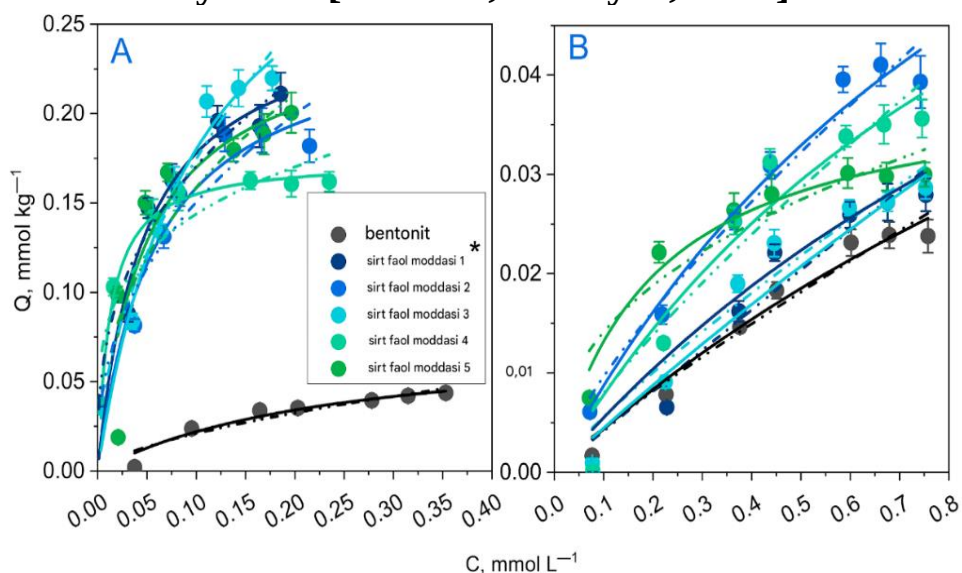
Organik modifikatsiyaning bentonit xossalarga ta'siri (Ismatov, Donayev ma'lumotlari)

Ismatov va Donayev [2025] maqolasida bentonitning turli modifikatsiyalari va ularning xossalarga ta'siri haqida qimmatli ma'lumotlar keltirilgan.

79-jadval. Bentonitning fizik-kimyoviy xossalarining modifikatsiyaga bog'liqligi [Ismatov, Donayev, 2025]

Xossa	Tabiiy Ca-bentonit	Soda aktivatsiyalangan	Kislotali aktivatsiyalangan	Organogil
Shishish, ml/2g	8-10	25-30	3-5	2-3
S_{BET} , m^2/g	400-500	450-550	500-650	50-150
KAS, mg-ekv/100g	80-90	95-105	20-30	5-10
Suv bug'i sorbsiyasi, mg/g	200	250	150	50
Benzol sorbsiyasi, mg/g	0	0	20	50
Pb^{2+} sorbsiyasi, mg/g	50	60	80	10

57-rasm. Turli modifikatsiyalangan bentonitlarning sorbsion xususiyatlari [Ismatov, Donayev, 2025]



O‘zbekiston bentonitlari bo‘yicha asosiy xulosalar [Ismatov, Donayev, 2025]:

1. O‘zbekiston bentonitlari asosan kalsiyli bo‘lib, soda aktivatsiyasini talab qiladi.

2. Soda aktivatsiyasi (3-4% Na_2CO_3) shishishni 8-10 ml/2g dan 25-30 ml/2g gacha oshiradi.

3. Kislotali aktivatsiya (10-20% HCl) sorbsion xususiyatlarni yaxshilaydi, og‘ir metallar (Pb^{2+}) sorbsiyasi 50 mg/g dan 80 mg/g gacha ortadi.

4. Organogillar (CTAB bilan) organik ifloslantiruvchilarni yutishda samarali (benzol sorbsiyasi 0 dan 50 mg/g gacha).

5. Mahalliy bentonitlardan sorbentlar, burg‘ilash eritmalari va qurilish materiallari ishlab chiqarish mumkin.

Organogillarning iqtisodiy samaradorligi

Organogillarning narxi ularning turi va sifatiga qarab 500 dan 3000 AQSh dollar/tonnagacha o‘zgaradi [Hindiston Kon byurosi, 2015].

80-jadval. Turli organogillarning taxminiy narxi

Tur	Narxi, \$/t	Izoh
Alkiammoniyli (oddiy)	500-1000	Keng tarqalgan
Alkiammoniyli (yuqori toza)	1000-1500	Sorbentlar uchun
Setilpiridiniyli	1500-2000	Antibakterial, maxsus
DODMAC	2000-2500	Yuqori gidrofob
Silanlangan	2500-3000	Polimer kompozitlar uchun

Xulosa va tendensiyalar.

1. Organogillar – bentonitning almashinuvchi kationlarini organik kationlar bilan almashish natijasida olinadigan materiallar bo‘lib, gidrofob xususiyatga ega.

2. Asosiy modifikatorlar – to‘rtlamchi ammoniy birikmalari (CTAB, DTAB, DODMAC), setilpiridiniy bromid va silan birikmalari (MPTMS, APTMS).

3. Olish usullari – ion almashinish (asosiy), quruq usul, silanlash. Ion almashinishda optimal sharoitlar: $T=60-80^{\circ}\text{C}$, $t=1-3$ soat, $\text{pH}=7-9$.

4. Tuzilishi – organik kationlar interlayerda yotgan, qiya yoki parafin tipida joylashadi. d_{001} 14-30 Å gacha ortadi.

5. Xossalari – gidrofoblik, organik erituvchilarda shishish, organik moddalarni yuqori darajada yutish, termik barqarorlik $200-250^{\circ}\text{C}$ gacha.

6. Setilpiridiniyli organogillar [Panasyugin, 2022] fenol va boshqa aromatik birikmalarni yutishda yuqori selektivlikka ega. Optimal modifikator miqdori 5 mmol/g.

7. Silanlangan bentonitlar [Sartbayeva, 2023] polimerlar bilan yaxshi aralashadi va ular asosida kompozit materiallar olish imkonini beradi.

8. Qo‘llanilishi – sorbentlar (neft mahsulotlari, fenol, pestitsidlar), polimer nanokompozitlar, burg‘ilash eritmalari (organobentonitlar), kosmetika, farmatsevtika, bo‘yoqlar.

9. Ismatov va Donayev [2025] ma'lumotlari O‘zbekiston bentonitlarining turli modifikatsiyalar orqali xossalari yaxshilash va ularni sanoatning turli sohalarida qo‘llash imkoniyatlarini ko‘rsatadi.

10. Iqtisodiy samaradorlik – organogillarning narxi oddiy bentonitga nisbatan 10-50 barobar yuqori, ammo ularning qo‘llanilishi yuqori qo‘shimcha qiymat yaratadi.

PILLARED GILLAR – USTUNLI GILLAR

6-bobda bentonitlarni metall poligidroksokomplekslari bilan modifikatsiyalash, pillared gillar olish, ularning xossalari, termik barqarorligi va katalitik qo'llanilishi batafsil yoritiladi. Panasyugin va boshqalarning tadqiqotlari asosida.

Ushbu bobda bentonitlarni metall poligidroksokomplekslari bilan modifikatsiyalash, pillared gillar (ustunli gillar) olish, ularning xossalari, termik barqarorligi va katalitik qo'llanilishi batafsil yoritiladi. Pillared gillar – bu gilli minerallarning qatlamlararo bo'shlig'iga metallarning ko'p yadroli gidroksokomplekslarini kiritish va ularni kuydirish orqali oksid "ustunchalar"ga aylantirish natijasida olinadigan materiallardir [Panasyugin, 2022; Rozengart, 1988]. Ushbu materiallar yuqori termik barqarorlik ($500-800^{\circ}\text{C}$), rivojlangan mikro- va mezog'ovaklik, hamda katalitik faollik bilan ajralib turadi.

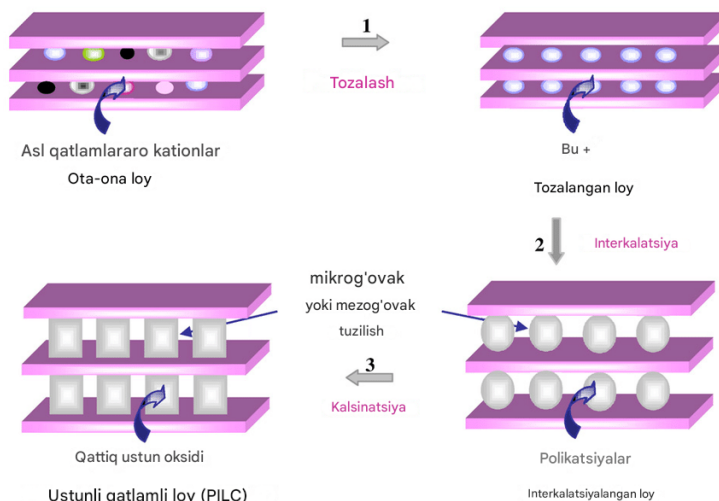
Pillared GILLAR tushunchasi va ularning ahamiyati

Pillared gillar (ustunli gillar) – bu qatlamli silikatlarining (asosan smektitlar) interlayer bo'shlig'iga metall oksidlarining nano-o'lchamli "ustunchalar" kiritilgan materiallardir [Bergaya, 2006; Panasyugin, 2022]. Ustunchalar qatlamlarni bir-biridan ma'lum masofada ushlab turadi va shu bilan materialda doimiy g'ovaklik hosil qiladi.

Pillared gillar olishning asosiy bosqichlari:

1. Interkalatsiya: Bentonitning qatlamlararo bo'shlig'iga metall poligidroksokomplekslarini (masalan, $[\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}(\text{H}_2\text{O})_{12}]^{7+}$) kiritish.

2. Kuydirish: $300-500^{\circ}\text{C}$ da qizdirish natijasida poligidroksokomplekslar parchalanib, metall oksidlarining mustahkam "ustunchalar"ga aylanadi.



58-rasmda pillared gillar hosil bo'lishining uch bosqichi ko'rsatilgan:

1) boshlang'ich qatlamli struktura, 2) poligidroksokomplekslar bilan interkalatsiya, 3) kuydirish natijasida oksid ustunchalarining hosil bo'lishi.

Pillared gillarning afzalliklari

Pillared gillar an'anaviy sorbentlar va katalizatorlarga nisbatan bir qator afzalliklarga ega:

81-jadval. Pillared gillar va boshqa materiallarning qiyosiy tahlili

Xususiyat	Tabiiy bentonit	Pillared gillar	Seolitlar	Aktivlangan ko'mir
Solishtirma yuza, m ² /g	400-600	200-500	300-800	500-1500
G'ovak o'lchami, nm	1-2 (interlayer)	0.5-2	0.3-1.2	0.5-5
Termik barqarorlik, °C	400	500-800	800-1000	400
Kislotali markazlar	O'rtacha	Yuqori	Juda yuqori	Past
Kation almashinish sig'imi	80-120	10-30	100-300	0
Sintez murakkabligi	—	O'rtacha	Yuqori	Past
Narxi	Past	O'rtacha	Yuqori	O'rtacha

Pillared gillar rivojlanish tarixi

1970-yillar: Birinchi marta alyuminiy poligidroksokomplekslari bilan interkalatsiyalangan montmorillonitlar olingan [Lahav, 1978].

1980-yillar: Zr, Fe, Cr, Ti kabi boshqa metallarning komplekslari qo'llanila boshlangan.

1990-yillar: Geteroyadroli (aralash) komplekslar (Fe-Al, Fe-Zr, Al-Ga) o'rganilgan.

2000-yillar - hozirgacha: Pillared gillarning katalitik qo'llanilishi, ayniqsa neft kimyosi va atrof-muhitni tozalash sohalarida keng tadqiq qilinmoqda.

Metall poligidroksokomplekslari:

Pillared gillar olishda ishlatiladigan metall poligidroksokomplekslari – bu metall ionlarining gidrolizi natijasida hosil bo'ladigan ko'p yadroli, musbat zaryadlangan komplekslardir [Baes, 1976; Jolivet, 2000].

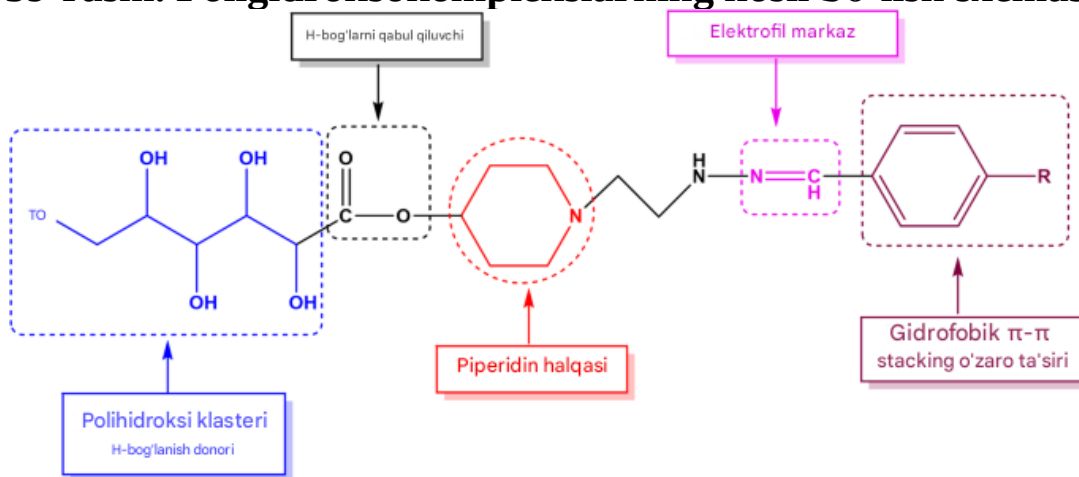
Poligidroksokomplekslarning hosil bo'lish mexanizmi

Metall tuzlari eritmalariga asos (NaOH, KOH, Na₂CO₃) qo'shilganda quyidagi jarayonlar sodir bo'ladi:

1. Hidroliz: $M(H_2O)_6^{n+} \rightarrow M(OH)(H_2O)_5^{(n-1)+} + H^+$
2. Olyatsiya: $M-OH + M-OH_2 \rightarrow M-OH-M + H_2O$
3. Oksolyatsiya: $M-OH + M-OH \rightarrow M-O-M + H_2O$

Natijada tarkibida bir necha (2 dan 13 gacha va undan ko'p) metall atomi bo'lgan ko'p yadroli komplekslar hosil bo'ladi.

59-rasm. Poligidroksokomplekslarning hosil bo'lish sxemasi



Asosiy metall poligidroksokomplekslari

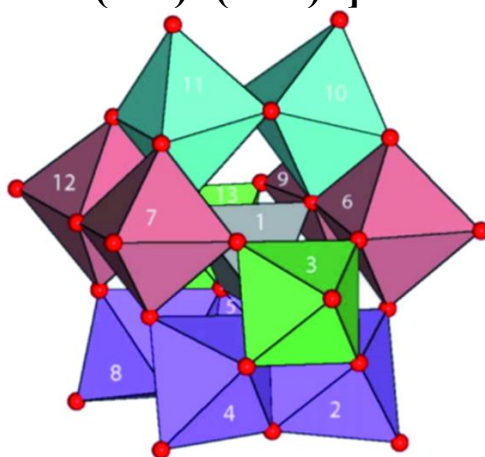
82-jadval. Pillared gillar olishda ishlatiladigan asosiy metall poligidroksokomplekslari [Panasyugin, 2022]

Metall	Kompleks formulasi	Zaryad	O'lcham, Å	OH/Me nisbati	pH oralig'i
Al	$[Al_{13}O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{7+}$	+7	9-10	2.0-2.5	4.0-5.0
Zr	$[Zr_4(OH)_{14}(H_2O)_{10}]^{2+}$	+2	8-9	2.0-2.5	3.5-4.5
Fe	$[Fe_3(OH)_4]^{5+}$, $[Fe_2(OH)_2]^{4+}$	+5, +4	5-7	1.5-2.0	2.0-3.0
Cr	$[Cr_3(OH)_4]^{5+}$, $[Cr_4(OH)_6]^{6+}$	+5, +6	6-8	2.0-2.5	3.5-4.5
Ti	TiO ₂ sol zarrachalari	—	10-50	—	2.0-3.0
Ga	$[Ga_{13}O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{7+}$	+7	9-10	2.0-2.5	4.0-5.0

Alyuminiy kompleksi – Keggin ioni

Eng ko'p o'rganilgan va keng qo'llaniladigan kompleks – alyuminiyning Keggin ioni $[Al_{13}O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{7+}$. U 13 ta alyuminiy atomidan iborat bo'lib, markaziy tetraedrik AlO₄ atrofida 12 ta oktaedrik Al joylashgan [Johansson, 1960].

60-rasm. $[\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}(\text{H}_2\text{O})_{12}]^{7+}$ ionining tuzilishi



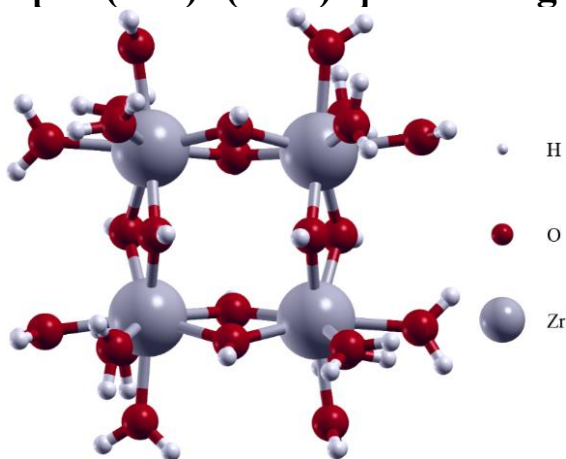
60-rasmda Keggin ionining tuzilishi ko'rsatilgan.

Al_{13} kompleksini olish: AlCl_3 yoki $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ eritmasiga sekin, aralashtirib turib, NaOH eritmasi qo'shiladi ($\text{OH}/\text{Al} = 2.0-2.5$). Eritma 24-48 soat "qarish" uchun qoldiriladi.

Sirkoniy kompleksi

Sirkoniy asosan tetramer $[\text{Zr}_4(\text{OH})_{14}(\text{H}_2\text{O})_{10}]^{2+}$ kompleksi shaklida bo'ladi [Yamanaka, 1979].

61-rasm. $[\text{Zr}_4(\text{OH})_{14}(\text{H}_2\text{O})_{10}]^{2+}$ ionining tuzilishi



61-rasmda tetramer sirkoniy kompleksining tuzilishi ko'rsatilgan.

Temir kompleksi

Temir (III) murakkab gidroliz xatti-harakatiga ega. Asosan ikki yadroli $[\text{Fe}_2(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_8]^{4+}$ va uch yadroli $[\text{Fe}_3(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_{10}]^{5+}$ komplekslari hosil bo'ladi [Spiro, 1966].

83-jadval. Temir (III) komplekslarining xossalari

Kompleks	Formulasi	O'lcham, Å	Barqarorlik	pH	Izoh
Dimer	$[\text{Fe}_2(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_8]^4+$	4-5	1.5-2.5	Past	pH da ustunlik qiladi
Trimer	$[\text{Fe}_3(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_{10}]^{5+}$	6-7	2.0-3.0	O'rtacha	pH da
Polimer	FeOOH, Fe ₂ O ₃ zollari	10-100	3.0	Yuqori	pH da

Geteroyadroli komplekslar [Panasyugin, 2022]

Ikki xil metallni birgalikda gidrolizlash natijasida geteroyadroli komplekslar hosil bo'ladi. Ular gomoyadroli komplekslarga nisbatan ko'pincha yuqori termik barqarorlik va katalitik faollik beradi.

84-jadval. Geteroyadroli komplekslar turlari

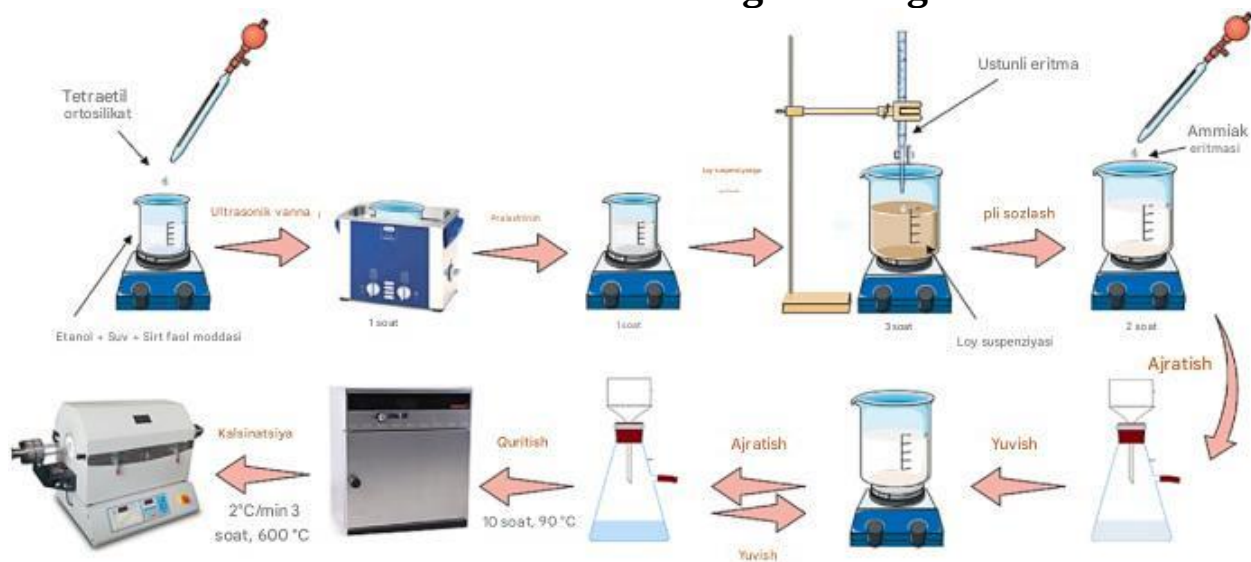
Kompleks	Tarkib	OH/(Me1+Me2)	d001, Å	Termik barqarorlik, °C
Fe-Al	Fe/(Al+Fe) = 0.1-0.9	2.0-2.5	16-25	500-600
Fe-Zr	Fe/(Zr+Fe) = 0.5-0.95	2.0	19-24	600-700
Fe-Ni	Fe/(Ni+Fe) = 0.5	2.0	16-17	500-600
Fe-Cr	Fe/(Cr+Fe) = 0.1-0.9	2.0	16-22	500-600
Al-La	Al/(La+Al) = 0.9	2.0	18-20	600-700

Pillared gillar olish texnologiyasi

Asosiy texnologik sxema

Pillared gillar olishning umumiy sxemasi quyidagi bosqichlardan iborat [Panasyugin, 2022; Lahav, 1978]:

62-rasm. Pillared GILLAR olishning texnologik sxemasi



62-rasmda blok-sxema ko'rsatilgan.

1. Bentonitni tayyorlash:

- Bentonite <0.5 mm gacha maydalanadi
- 1-3% li suvli suspenziya tayyorlanadi (Na shaklga o'tkazilgan bo'lishi kerak)

- Suspenziya 1-2 soat aralashtiriladi, so'ngra 24 soat tindiriladi

2. Poligidroksokompleks eritmasini tayyorlash:

- Metall tuzi eritmasiga (0.1-0.5 M) sekin aralashtirib, NaOH eritmasi qo'shiladi
- Kerakli OH/Me nisbatiga erishiladi (odatda 2.0-2.5)
- Eritma 24-48 soat qarish uchun qoldiriladi

3. Interkalatsiya:

- Bentonit suspenziyasiga poligidroksokompleks eritmasi qo'shiladi (Me/bentonit = 5-20 mg-ekv/g)
- 60-80°C da 2-4 soat aralashtiriladi
- 24 soat tindiriladi

4. Yuvish va filtrlash:

Ortiqcha kompleks va xlorid ionlarini olib tashlash uchun suv bilan yuviladi

Sentrifugalash yoki filtrlash orqali ajratiladi

Yuvish suvida xlorid ionlari qolmaganicha davom ettiriladi

5. Quritish:

60-80°C da quritiladi

Natijada interkalatsiyalangan bentonit olinadi

6. Kuydirish (kalsinatsiya):

300-500°C da 2-4 soat qizdiriladi

Poligidroksokomplekslar parchalanadi va mustahkam oksid ustunchalar hosil bo‘ladi

Pillared clay olinadi

Interkalatsiya sharoitlarining ta’siri

Kompleks miqdori (Me/bentonit nisbati)

Kompleks miqdori interlayerdagi ustunchalar zichligini belgilaydi [Panasyugin, 2022].

85-jadval. Kompleks miqdorining pillared clay xossalariga ta’siri

Me/bentonit, mg-ekv/g	d001, Å	S _{BET} , m ² /g	Mikrog‘ovak hajmi, sm ³ /g	Izoh
0 (tabiiy)	12.5	80	0.01	—
5	16.5	150	0.05	Past to‘yingan
10	18.5	200	0.10	Optimal (Al, Fe)
15	19.5	180	0.12	Optimal (Zr)
20	18.0	160	0.08	Ortiqcha
25	16.5	140	0.06	Juda ortiqcha

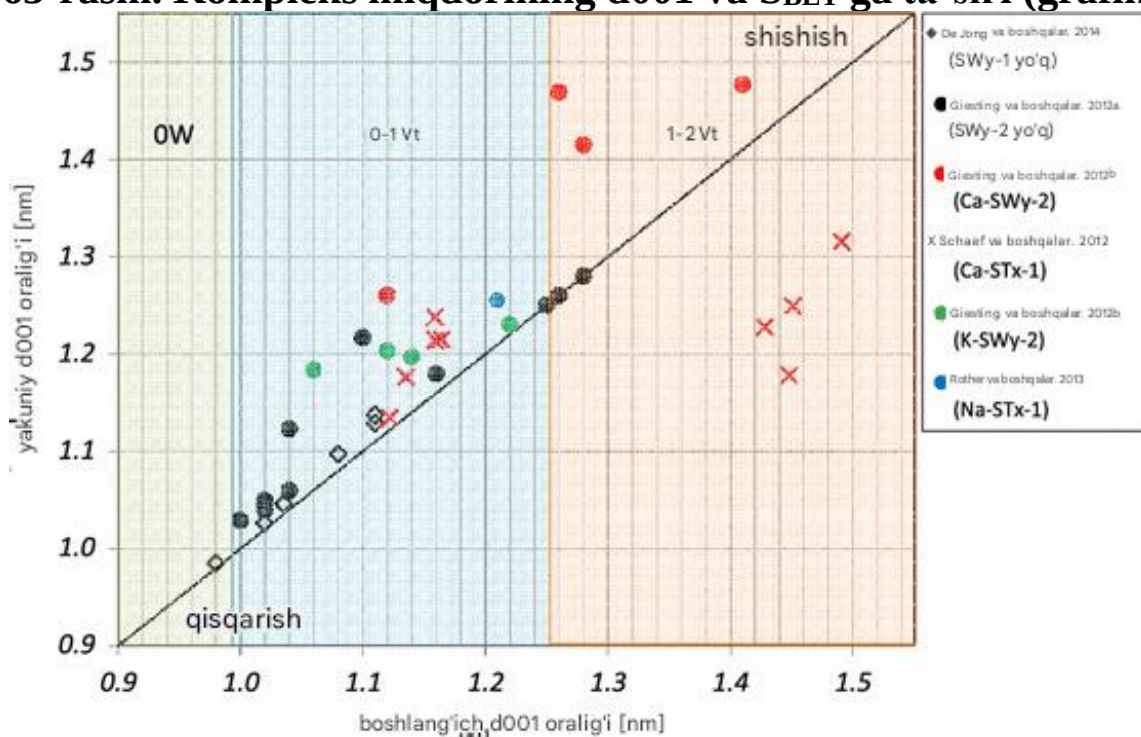
Tahlil:

Kompleks miqdori ortishi bilan d001 va S_{BET} ortadi

Maksimumga erishgandan so‘ng pasayish kuzatiladi (ortiqcha kompleks g‘ovaklarni to‘ldiradi)

Turli metallar uchun optimal konsentratsiya har xil: Al va Fe uchun 10 mg-ekv/g, Zr uchun 15 mg-ekv/g

63-rasm. Kompleks miqdorining d001 va S_{BET} ga ta’siri (grafik)



OH/Me nisbati (asoslilik)

OH/Me nisbati poligidroksokomplekslarning o'lchami va zaryadini belgilaydi.

86-jadval. OH/Al nisbatining pillared clay xossalariga ta'siri [Lahav, 1978]

OH/Al	Kompleks turi	d001, Å	S _{BET} , m ² /g	Izoh
0 Al ³⁺	(monomer)	12.5	80	Interkalatsiya yo'q
1.0	Kichik komplekslar	14.5	110	Qisman
1.5 Al ₂	Al ₃ komplekslari	16.5	150	O'rtacha
2.0 Al ₁₃	Keggin ioni	18.5	200	Optimal
2.5 Al ₁₃	+ polimer	19.0	190	Polimer qo'shimchalari
3.0 Al	(OH) ₃ cho'kmasi	—	—	Cho'kma

Bentonit suspenziyasi konsentratsiyasi

87-jadval. Bentonit konsentratsiyasining pillared clay xossalariga ta'siri [Panasyugin, 2022]

Bentonit konsentratsiyasi, %	d001, Å	S _{BET} , m ² /g	Fe miqdori, %	Izoh
0.5	18.5	210	8.5	Juda suyultirilgan
1.0	18.2	200	7.8	Optimal
2.0	17.5	180	6.5	O'rtacha
3.0	16.8	160	5.2	Qisman interkalatsiya
5.0	15.5	130	3.8	Past
10.0	13.5	100	1.5	Juda past

Tahlil:

Suyultirilgan suspenziyalarda (0.5-1.5%) interkalatsiya to'liqroq

Yuqori konsentratsiyalarda interkalatsiya to'liq emas, chunki komplekslar yetarli darajada kira olmaydi

· Optimal konsentratsiya: 1-1.5%

pH va qarish vaqti

Poligidroksokomplekslarning tarkibi pH va qarish vaqtiga bog'liq. Al₁₃ kompleksi hosil bo'lishi uchun optimal pH 4.0-4.5, qarish vaqti kamida 24 soat.

Kuydirish (kalsinatsiya) jarayoni

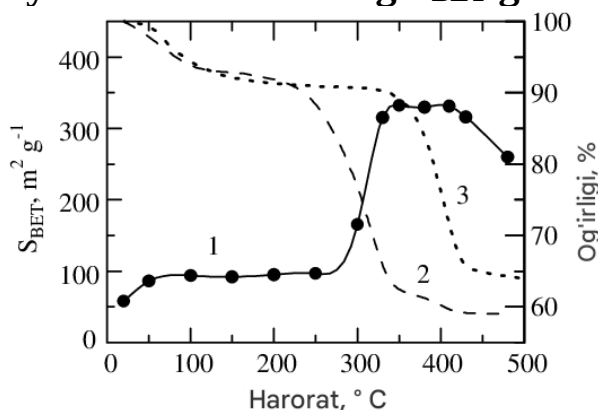
Kuydirish jarayonida poligidroksokomplekslar parchalanadi va mustahkam oksid ustunchalar hosil bo‘ladi.

88-jadval. Kuydirish haroratining pillared clay xossalariga ta’siri

[Panasyugin, 2022]

Kuydirish harorati, °C	Al-pillared	Fe-pillared	Zr-pillared	Fe-Zr-pillared
	S_{BET} , m^2/g	S_{BET} , m^2/g	S_{BET} , m^2/g	S_{BET} , m^2/g
120 (quritish)	180	160	200	210
300	170	150	190	200
400	160	130	180	190
500	150	100	170	180
600	120	60	150	160
700	80	30	120	130
800	40	10	80	90

64-rasm. Kuydirish haroratining S_{BET} ga ta’siri (grafik)



64-rasmda har xil pillared gillar uchun grafik ko‘rsatilgan.

Tahlil:

- Fe-pillared clay eng past termik barqarorlikka ega (500°C dan yuqori buziladi)
- Zr-pillared clay yuqori termik barqarorlikka ega (600-700°C)
- Fe-Zr geteroyadroli kompleks oraliq barqarorlikka ega (600°C)
- Al-pillared o‘rtacha barqarorlik (500-600°C)

Gomoyadroli pillared gillar

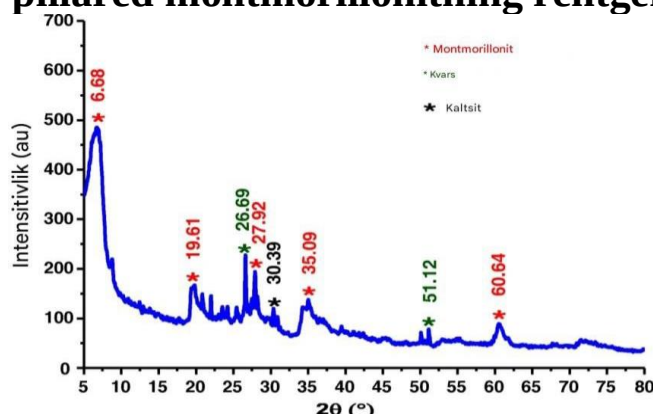
Al-pillared montmorillonit

Al-pillared montmorillonit eng ko'p o'rganilgan va keng qo'llaniladigan tur hisoblanadi [Lahav, 1978; Pinnavaia, 1983].

89-jadval. Al-pillared montmorillonitning xossalari

Xossa	Qiymat	Izoh
d001, Å	17-19	Optimal sharoitlarda
S _{BET} , m ² /g	150-250	Azot adsorbsiyasi bo'yicha
Mikrog'ovak hajmi, sm ³ /g	0.05-0.15	r < 2 nm
Mezog'ovak hajmi, sm ³ /g	0.10-0.20	r = 2-50 nm
Kislotalilik, mmol/g	0.5-1.0	Piridin adsorbsiyasi
KAS, mg-ekv/100g	10-30	Kamaygan
Termik barqarorlik, °C	500-600	S _{BET} 500°C gacha saqlanadi

65-rasm. Al-pillared montmorillonitning rentgenogrammasi



65-rasmda rentgenogramma ko'rsatilgan, d001 cho'qqisi 5-6° 2θ da

Zr-pillared montmorillonit

Zr-pillared montmorillonit yuqori termik barqarorligi bilan ajralib turadi [Yamanaka, 1979; Panasyugin, 2022].

90-jadval. Zr-pillared montmorillonitning xossalari

Xossa	Qiymat	Izoh
d001, Å	16-20	Optimal sharoitlarda
S _{BET} , m ² /g	200-300	Azot adsorbsiyasi bo'yicha
Mikrog'ovak hajmi, sm ³ /g	0.08-0.16	r < 2 nm

Mezog'ovak hajmi, sm ³ /g	0.12- 0.20	r = 2-50 nm
Termik barqarorlik, °C	600-700	600°C gacha barqaror
Kislotalilik, mmol/g	0.4-0.8	Lyuis markazlari

Zr-pillared gillarning afzalliklari:

- Yuqori termik barqarorlik (600°C)
- Kislotali va asosli muhitlarda barqaror
- Yirik molekulalar uchun mos g'ovak o'lchami

Fe-pillared montmorillonit

Fe-pillared montmorillonit nisbatan past termik barqarorlikka ega, ammo oksidlanish-qaytarilish reaksiyalarida katalitik faolligi bilan qiziq [Panasyugin, 2022; Rightor, 1991].

91-jadval. Fe-pillared montmorillonitning xossalari

Xossa	Qiymat	Izoh
d ₀₀₁ , Å	15-17	Optimal sharoitlarda
S _{BET} , m ² /g	150- 200	Azot adsorbsiyasi bo'yicha
Termik barqarorlik, °C	400- 500	400°C dan yuqori pasayadi
Fe miqdori, %	5-15	Sintez sharoitiga bog'liq
Katalitik faollik	Yuqori	Fenton reaksiyalari

Ti-pillared montmorillonit

Ti-pillared montmorillonit fotokatalitik xossalari bilan ajralib turadi [Yamanaka, 1987; Panasyugin, 2022].

92-jadval. Ti-pillared montmorillonitning xossalari

Xossa	Qiymat	Izoh
d ₀₀₁ , Å	20-30	TiO ₂ zollari bilan
S _{BET} , m ² /g	250-400	Yuqori
Termik barqarorlik, °C	500-600	—
Tarmoqli oralig'i, eV	3.0-3.2	Anatas fazasi
Fotokatalitik faollik	O'rtacha- yuqori	UV nurlanishda

Geteroyadroli pillared gillar

Geteroyadroli komplekslar – ikki yoki undan ortiq xil metall atomlarini o‘z ichiga olgan poligidroksokomplekslar. Ular gomoyadroli komplekslarga nisbatan ko‘pincha yuqori termik barqarorlik va katalitik faollik beradi.

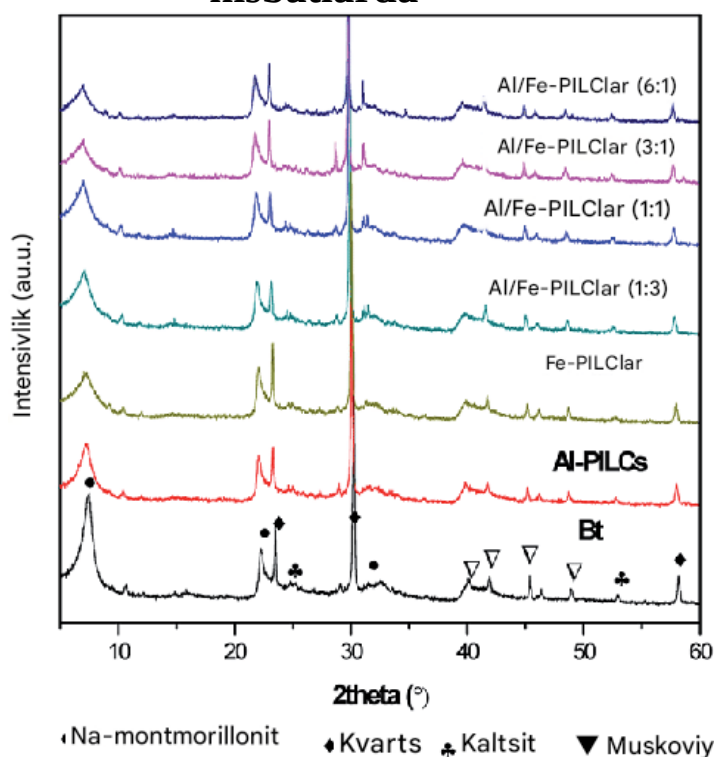
Fe-Al pillared montmorillonit

Fe-Al pillared gillar tarkibidagi Fe va Al nisbatiga qarab xossalari o‘zgaradi [Panasyugin, 1999; 2022].

93-jadval. Fe-Al pillared montmorillonitning xossalari (Fe/(Fe+Al) nisbatiga qarab

Fe/(Fe+Al)	d001, Å	S _{BET} , m ² /g	Termik barqarorlik, °C	Katalitik faollik
0 (Al)	18.5	180	550	O‘rtacha
0.1	19.0	185	550	O‘rtacha
0.25	18.5	170	500	O‘rtacha
0.5	17.5	150	450	O‘rtacha
0.75	17.0	140	400	O‘rtacha-yuqori
0.9	16.5	130	400	Yuqori
1.0 (Fe)	16.0	120	350	Juda yuqori

66-rasm. Fe-Al pillared gillar rentgenogrammalari turli nisbatlarda



66-rasmda rentgenogrammalar ko‘rsatilgan.

Tahlil:

Fe miqdori ortishi bilan d_{001} va S_{BET} pasayadi (Fe komplekslari kichikroq)

Fe miqdori ortishi bilan katalitik faollik ortadi (Fe katalitik faol)

Termik barqarorlik Fe miqdori ortishi bilan pasayadi

Optimal nisbat maqsadga qarab tanlanadi: kataliz uchun Fe ko'p, adsorbsiya uchun Al ko'p

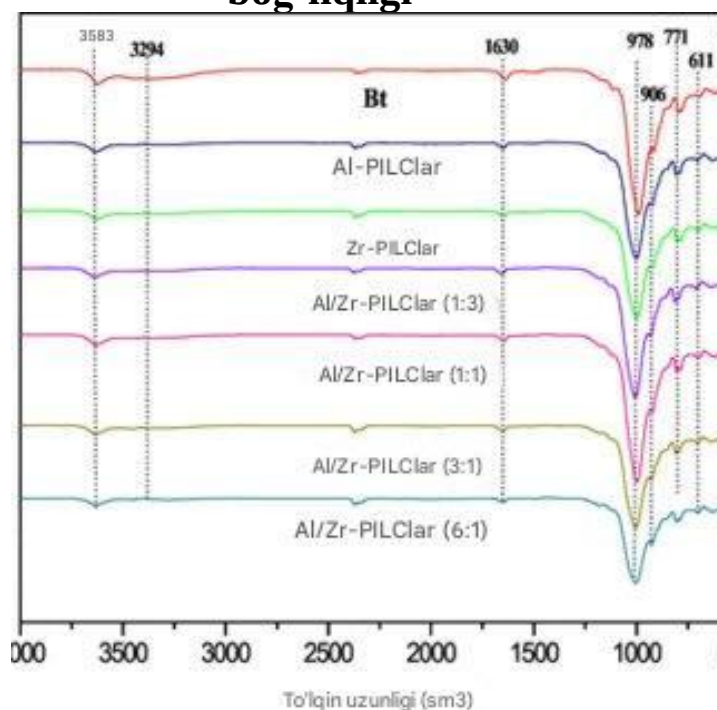
Fe-Zr pillared montmorillonit

Fe-Zr pillared gillar yuqori termik barqarorlik va katalitik faollikni birlashtiradi [Panasyugin, 1992; 2022].

**94-jadval. Fe-Zr pillared montmorillonitning xossalari
(Fe/(Fe+Zr) nisbatiga qarab**

Fe/(Fe+Zr)	d_{001} , Å	S_{BET} , m ² /g 500°C da	S_{BET} , m ² /g 700°C da	S_{BET} , m ² /g
0 (Zr)	20.4	215	180	120
0.05	24.2	280	220	160
0.25	23.5	260	200	140
0.5	22.0	240	170	100
0.75	19.5	200	130	60
0.95	18.5	180	110	40
1.0 (Fe)	16.0	150	70	15

67-rasm. Al-Zr pillared gillarning S_{BET} va d_{001} ning tarkibga bog'liqligi



Asosiy xulosalar:

- $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Zr}) = 0.05-0.25$ nisbatda sinergik effekt kuzatiladi:
- d_{001} 24.2 Å gacha ortadi
- S_{BET} 280 m²/g gacha ortadi
- Termik barqarorlik 700°C gacha saqlanadi
- Zr ning kichik miqdori Fe oksidining sinterlanishiga to'sqinlik qiladi
- Fe-Zr pillared gillar yuqori haroratli katalitik jarayonlar uchun

istiqbolli

Fe-Ni pillared montmorillonit

Fe-Ni pillared gillar temir va nikel oksidlarining katalitik xususiyatlarini birlashtiradi [Panasyugin, 1993; 2022].

95-jadval. Fe-Ni pillared montmorillonitning xossalari (Fe/Ni = 1/1)

Kompleks miqdori, mg-ekv/g	d_{001} , Å	S_{BET} , m ² /g	Fe miqdori, %	Ni miqdori, %
5	16.2	125	2.1	0.9
10	16.5	164	3.5	1.2
15	16.7	190	4.8	0.8
20	16.4	207	5.2	0.5

Tahlil:

- Kompleks miqdori ortishi bilan S_{BET} ortadi
- Ni miqdori 10 mg-ekv/g dan keyin pasayadi (Ni^{2+} ning polimerlanishi qiyin)
- d_{001} nisbatan o'zgaras (16.2-16.7 Å)

Termik barqarorlik:

- 400°C gacha S_{BET} o'zgarishsiz qoladi
- 600°C da S_{BET} 80-100 m²/g gacha pasayadi
- 800°C da S_{BET} 40-60 m²/g, NiFe_2O_4 shpineli hosil bo'ladi

Fe-Cr pillared montmorillonit

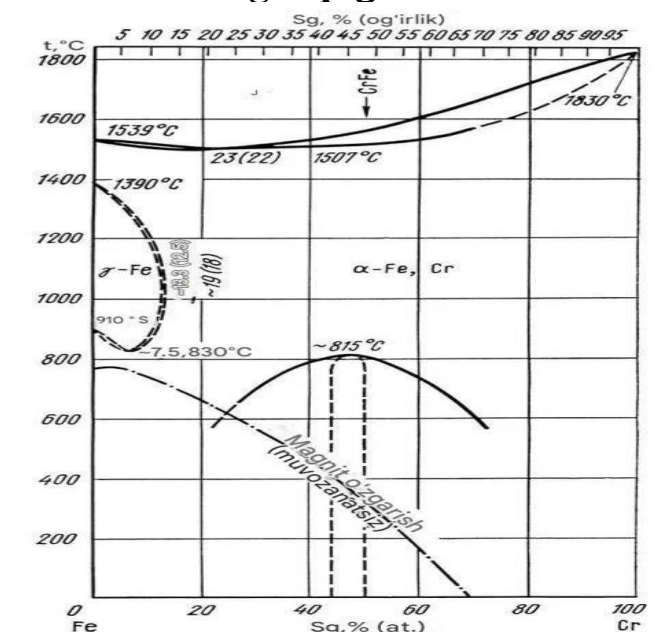
Fe-Cr pillared gillar yuqori oksidlanish-qaytarilish potensialiga ega [Panasyugin, 1998; 2022].

96-jadval. Fe-Cr pillared montmorillonitning xossalari (turli Fe/Cr nisbatlarida)

Fe/Cr nisbati, mol.%	d_{001} , Å	S_{BET} , m ² /g	Sorbsiya, % Fe+Cr	Izoh
100/0	16.4	142	50	Fe-monokompleks
90/10	22.1	148	52	Geteroyadroli

75/25	17.3	165	45	Geteroyadroli
50/50	17.0	170	61	Geteroyadroli
25/75	17.2	168	52	Geteroyadroli
10/90	16.8	115	41	Geteroyadroli
0/100	16.1	95	16	Cr-monokompleks

68-rasm. Fe-Cr pillared gillarning d001 va S_{BET} ning tarkibga bog‘liqligi



68-rasmida grafik ko‘rsatilgan.

Asosiy xulosalar:

- Fe/Cr = 90/10 nisbatda d001 maksimal (22.1 Å) – geteroyadroli kompleks
- Fe/Cr = 50/50 nisbatda S_{BET} maksimal (170 m²/g) va sorbsiya maksimal (61%)
- Geteroyadroli komplekslar gomoyadrolilarga nisbatan yuqori sorbsion xususiyatlarga ega

Fe-nodir yer elementlari pillared montmorillonit

Fe va nodir yer elementlari (La, Ce, Y, In) geteroyadroli komplekslari o‘rganilgan [Panasyugin, 2003; 2022].

97-jadval. Fe-Ce, Fe-La, Fe-Y, Fe-In pillared montmorillonitlarning xossalari (Fe/Me = 90/10)

Kompleks pH	d001, Å	S _{BET} , m ² /g	550°C da	S _{BET} , m ² /g
Fe-Ce	2.1	17.8	165	115
Fe-La	2.1	17.1	155	100
Fe-Y	2.2	17.4	160	110

Fe-In	2.1	17.3	158	108
Fe (100%)	2.1	16.5	142	85

Tahlil:

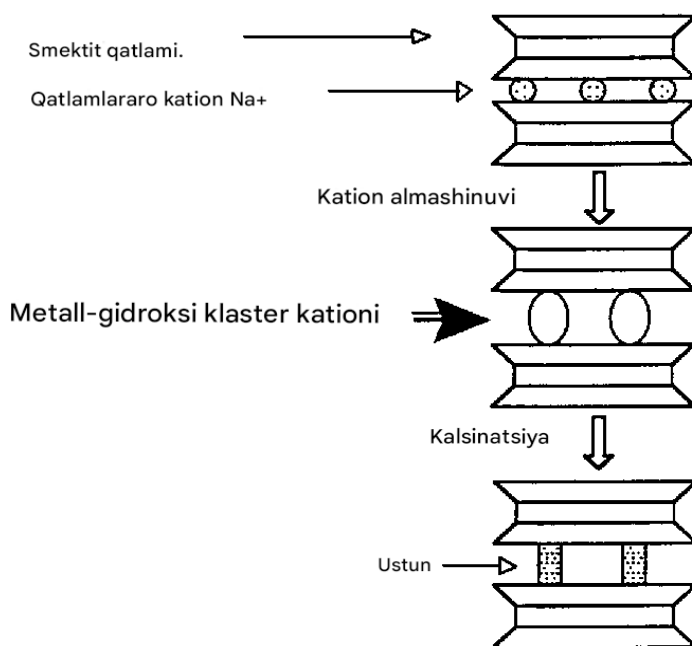
- Nodir yer elementlari qo‘shilishi d_{001} va S_{BET} ni oshiradi
- Eng yuqori ko‘rsatkichlar Fe-Ce kompleksida kuzatiladi
- Termik barqarorlik gomoyadroli Fe-ga nisbatan yuqori

Pillared gillarning fizik-kimyoviy xossalari

G‘ovak tuzilishi

Pillared gillarning g‘ovak tuzilishi interlayerdagi ustunchalar orasidagi bo‘shliqdan iborat. G‘ovak o‘lchami ustuncha balandligi va ular orasidagi masofa bilan belgilanadi.

69-rasm. Pillared clay g‘ovak tuzilishining sxemasi



69-rasmda g‘ovak tuzilishi sxematik ko‘rsatilgan.

98-jadval. Turli pillared gillarning g‘ovak o‘lchamlari

Material	G‘ovak o‘lchami (en), nm	G‘ovak o‘lchami (balandlik), nm	Mikrog‘ovak hajmi, sm^3/g
Al-pillared	0.8-1.0	0.7-0.9	0.08-0.15
Zr-pillared	1.0-1.2	0.8-1.0	0.10-0.18
Fe-Zr-pillared	1.2-1.5	1.0-1.2	0.12-0.20
Ti-pillared	1.5-2.0	1.2-1.8	0.15-0.25

Kislotali xususiyatlar

Pillared gillarning yuzasida kislotali markazlar (Lyuis va Brønsted) mavjud. Ular katalitik xossalarni belgilaydi.

99-jadval. Turli pillared gillarning kislotaliligi (piridin adsorbsiyasi, mmol/g)

Material	Umumiy kislotalilik	Lyuis markazlari	Brønsted markazlari
Tabiiy bentonit	0.3	0.1	0.2
Al-pillared	0.7	0.4	0.3
Zr-pillared	0.6	0.5	0.1
Fe-pillared	0.5	0.4	0.1
Fe-Al-pillared	0.8	0.5	0.3
Fe-Zr-pillared	0.7	0.6	0.1

Sorbsion xususiyatlar

Pillared gillar gazlar va suyuqliklardan turli moddalarni yutishda samarali.

100-jadval. Pillared gillarning sorbsion sigʻimi

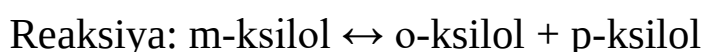
Material	N ₂ (77 K), m ² /g	Benzol (298 K), m ² /g	SO ₂ , mg/g	NH ₃ , mg/g
Al-pillared	200	150	80	50
Zr-pillared	250	180	70	60
Fe-Al-pillared	220	160	90	70
Fe-Zr-pillared	280	200	85	80

Pillared gillarning katalitik qoʻllanilishi

Pillared gillar kislotali va oksidlanish-qaytarilish katalizatorlari sifatida turli reaksiyalarda qoʻllaniladi.

Kislotali kataliz reaksiyalari

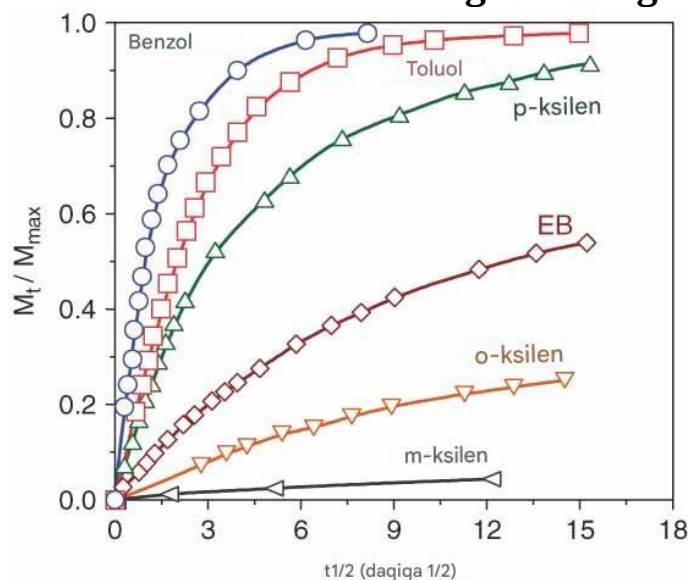
m-Ksilol izomerlanishi



101-jadval. Pillared gillarning m-ksilol izomerlanishidagi faolligi

Katalizator	Harorat, °C	Konversiya, %	Selektivlik (p-ksilol), %
Al-pillared	400	25	45
Zr-pillared	400	18	50
Fe-Al-pillared	400	30	48
Fe-Zr-pillared	400	22	52
H-ZSM-5 (solishtirma)	350	40	35

70-rasm. m-Ksilol izomerlanishining haroratga bog‘liqligi



70-rasmda grafik ko‘rsatilgan.

Toluol alkillanishi

Reaksiya: Toluol + etilen $\rightarrow$ etiltoluollar (o-, m-, p-)

102-jadval. Pillared gillarning toluol alkillanishidagi faolligi

[Panasyugin, 2022]

Katalizator	Harorat, °C	Konversiya, %	p-etiltoluol selektivligi, %
Al-pillared	400	8	65
Zr-pillared	400	6	70
Fe-Al-pillared	400	12	68
Fe-Zr-pillared	400	10	72
NTsVM seolit	350	32	30

Oksidlanish reaksiyalari

Fenolning oksidlanishi (Fenton-like reaksiyalar)

Fe-pillared gillar H_2O_2 bilan birgalikda fenol va boshqa organik moddalarni oksidlashda samarali.

103-jadval. Fe-pillared gillarning fenol oksidlanishidagi faolligi

Katalizator	Fenol konversiyasi, %	TOC kamayishi, %	Izoh
Fe-pillared	85	60	60 daqiqa
Fe-Al-pillared	90	70	60 daqiqa
Fe-Zr-pillared	95	80	60 daqiqa

CO oksidlanishi

104-jadval. Pillared gillarning CO oksidlanishidagi faolligi

Katalizator	T_{10} , °C*	T_{50} , °C	T_{90} , °C
Fe-pillared	200	250	300
Fe-Cr-pillared	180	220	270
Pt/ Al_2O_3 (solishtirma)	150	180	210

* T_{10} – 10% konversiya harorati

Katalizatorlarning regeneratsiyasi

Pillared gillar katalizatorlari kokslash natijasida faolligini yo‘qotishi mumkin. Regeneratsiya 500-600°C da havoda qizdirish orqali amalga oshiriladi.

Pillared gillarning boshqa qo‘llanilishi

Gazlarni ajratish va saqlash

Pillared gillar CO_2 , CH_4 , N_2 kabi gazlarni selektiv adsorbsiyalashda qo‘llaniladi.

105-jadval. Pillared gillar larning gaz adsorbsiyasi

Material	CO_2 adsorbsiyasi, mmol/g (1 bar)	CH_4 adsorbsiyasi, mmol/g	CO_2/CH_4 selektivligi
Al-pillared	1.2	0.4	3.0
Zr-pillared	1.5	0.5	3.0

Fe-Zr-pillared	1.8	0.5	3.6
----------------	-----	-----	-----

Ion almashinish va sorbsiya

Pillared gillar KAS qiymati past bo'lsa ham (10-30 mg-ekv/100g), ba'zi ionlarni selektiv yutishi mumkin.

Sensor materiallar

Pillared gillar larning yuqori sirt maydoni va selektivligi ularni gaz sensorlari sifatida qo'llash imkonini beradi.

Pillared gillarning sanoatda qo'llanilishi istiqbollari

106-jadval. Pillared gillar larning potensial sanoat qo'llanilishi

Soha	Qo'llanilishi	Afzalliklari
Neft kimyosi	Kreking, gidrokreking, izomerlash	Yuqori selektivlik, termik barqarorlik
Atrof-muhitni tozalash	Gazlarni tozalash (SO _x , NO _x , VOCs)	Yuqori sirt maydoni, regeneratsiya mumkin
Farmatsevtika	Dori vositalarini tozalash	G'ovak o'lchamini boshqarish mumkin
Qishloq xo'jaligi	Pestitsidlarni uzoq muddatli saqlash	Selektiv sorbsiya
Energetika	Vodorod saqlash, CO ₂ capture	Yuqori adsorbsion sig'im

Xulosa va tendensiyalar

1. Pillared gillar (ustunli gillar) – bentonitning qatlamlararo bo'shlig'iga metall poligidroksokomplekslarini kiritish va kuydirish orqali olinadigan materiallar bo'lib, yuqori termik barqarorlik ($500-800^{\circ}\text{C}$), rivojlangan g'ovaklik va katalitik faollikka ega.

2. Asosiy metall komplekslari: Al_{13} Keggin ioni ($d_{001}=17-19\text{\AA}$), Zr tetrameri ($d_{001}=16-20\text{\AA}$), Fe komplekslari ($d_{001}=15-17\text{\AA}$), Ti zollari ($d_{001}=20-30\text{\AA}$).

3. Geteroyadroli komplekslar [Panasyugin, 2022] gomoyadrolilarga nisbatan yuqori xossalarga beradi:

Fe-Zr ($\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Zr})=0.05-0.25$): $d_{001}=24.2\text{\AA}$, $S_{\text{BET}}=280\text{ m}^2/\text{g}$, termik barqarorlik 700°C

Fe-Al: tarkibga qarab xossalari o'zgaradi, Fe miqdori ortishi bilan katalitik faollik ortadi

Fe-Cr: $\text{Fe}/\text{Cr}=50/50$ nisbatda $S_{\text{BET}}=170\text{ m}^2/\text{g}$, sorbsiya maksimal

Fe-Ni: $S_{\text{BET}}=200\text{ m}^2/\text{g}$ gacha, 800°C da NiFe_2O_4 shpineli hosil bo'ladi

4. Interkalatsiya sharoitlari:

Optimal kompleks miqdori: 10-15 mg-ekv/g

Optimal OH/Me nisbati: 2.0-2.5

Optimal bentonit konsentratsiyasi: 1-1.5%

Optimal pH: 4.0-5.0 (Al), 3.5-4.5 (Zr), 2.0-3.0 (Fe)

5. Kuydirish harorati xossalarga kuchli ta'sir qiladi. Al va Fe uchun 500°C , Zr uchun 600°C gacha barqaror. Fe-Zr geteroyadroli kompleks 700°C gacha barqaror.

6. Katalitik xossalari – pillared GILLAR kislotali (izomerlash, alkillash) va oksidlanish-qaytarilish (Fenton, CO oksidlanishi) reaksiyalarida yuqori faollik ko'rsatadi.

7. Gazlarni adsorbsiyalash – pillared gillar CO_2 , CH_4 , SO_2 , NH_3 kabi gazlarni yutishda samarali.

8. Sanoat istiqbollari – neft kimyosi, atrof-muhitni tozalash, energetika, farmatsevtika sohalarida qo'llash imkoniyati mavjud.

9. Pillared gillar an'anaviy sorbentlar va katalizatorlar o'rtasidagi bo'shliqni to'ldiradi, yuqori termik barqarorlik va boshqariladigan g'ovaklikni taklif qiladi.

BENTONIT-POLIMER NANOKOMPOZITLAR VA GIDROGELLAR

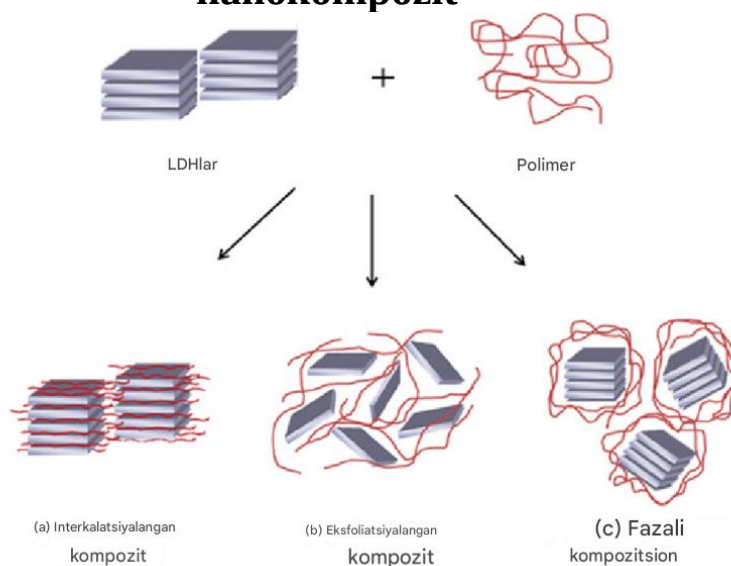
Bentonit va polimerlar asosida kompozit materiallar olish, ularning xossalari va qo'llanilishi batafsil yoritiladi. Sartbayeva va boshqalarning tadqiqotlari asosida.

Ushbu bobda bentonit va polimerlar asosida kompozit materiallar olish, ularning xossalari va qo'llanilishi batafsil yoritiladi. Bentonit-polimer nanokompozitlari – bu polimer matritsasiga nano-o'lchamli bentonit zarrachalarining (ayniqsa, montmorillonit qatlamlarining) kiritilishi natijasida olinadigan materiallar bo'lib, ular oddiy kompozitlarga nisbatan yuqori mexanik, termik va to'siq xususiyatlariga ega [Ray, 2003; Alexandre, 2000]. Hidrogellar esa suvda shishadigan, uch o'lchamli tarmoqli polimerlardir [Sartbayeva, 2023]. Ushbu bobda asosan Sartbayeva va boshqalarning [2023] Qozog'istonning Tagan koni bentoniti asosida olib borgan tadqiqotlari, shuningdek, boshqa mualliflarning ishlari tahlil qilinadi.

Bentonit-polimer nanokompozitlar: umumiy tushunchalar

Nanokompozitlar – bu ikki yoki undan ortiq fazadan tashkil topgan, ulardan kamida bittasi nano-o'lchamda (1-100 nm) bo'lgan materiallardir [Alexandre, 2000]. Bentonit-polimer nanokompozitlarida to'ldiruvchi sifatida bentonit (asosan montmorillonit) ishlatiladi, uning qatlam qalinligi ~1 nm, eni esa 100-1000 nm ni tashkil qiladi.

71-rasm. Nanokompozitlarning turlari: a) oddiy kompozit, b) interkalatsiyalangan nanokompozit, c) eksfoliatsiyalangan nanokompozit



71-rasmda uch turdagi kompozitlarning sxematik tasviri ko'rsatilgan.

Bentonit-polimer nanokompozitlarining turlari

Bentonit qatlamlarining polimer matritsasida joylashishiga qarab, nanokompozitlar uch turga bo'linadi [Ray, 2003]:

1. Oddiy kompozitlar (microcomposites): Bentonit zarrachalari agregat holida qoladi, polimer bilan aralashmaydi. Xossalari yaxshilanmaydi.

2. Interkalatsiyalangan nanokompozitlar: Polimer zanjirlari bentonit qatlamlari orasiga kiradi, lekin qatlamlar bir-biridan ajralmaydi. Qatlamlararo masofa (d_{001}) ortadi (2-3 nm gacha).

3. Eksfoliatsiyalangan nanokompozitlar: Bentonit qatlamlari bir-biridan to'liq ajraladi va polimer matritsasida alohida-alohida tarqaladi. Eng yuqori xossalar shu holatda kuzatiladi.

107-jadval. Nanokompozitlar turlarining qiyosiy tahlili

Xususiyat	Oddiy kompozit	Interkalatsiyalangan	Eksfoliatsiyalangan
d_{001} , Å	12-15	20-40	80 (aniqlanmaydi)
Bentonit qatlamlari	Agregat	Qatlamli paketlar	Alohida qatlamlar
Polimer bilan aloqa	Yomon	O'rtacha	Juda yaxshi
Mexanik xususiyatlar	Yaxshilanmaydi	O'rtacha yaxshilanadi	Keskin yaxshilanadi
To'siq xususiyatlari	O'zgarmaydi	O'rtacha yaxshilanadi	Keskin yaxshilanadi
Optik shaffoflik	Yo'q	Kam	O'rtacha

Bentonit-polimer nanokompozitlarining afzalliklari

Bentonit-polimer nanokompozitlari oddiy polimerlarga va mikrokkompozitlarga nisbatan bir qator afzalliklarga ega:

108-jadval. Bentonit-polimer nanokompozitlarining xossalari

Xossa	O'zgarish	Izoh
Elastiklik moduli	50-200% ortadi	Kichik miqdorda (2-5%) to'ldiruvchi bilan
Cho'zilish mustahkamligi	20-60% ortadi	Eksfoliatsiya darajasiga bog'liq

Issiqlik barqarorligi	50-100°C ortadi	Parchalanish harorati ortadi
Gaz o'tkazuvchanligi	50-80% kamayadi	To'siq xususiyati yaxshilanadi
Yong'inga chidamlilik	30-70% ortadi	Izolyatsion qatlam hosil bo'ladi
Namlikka chidamlilik	30-50% ortadi	Gidrofoblik ortadi
Biologik parchalanish	O'zgaradi	Polimer turiga bog'liq

Bentonit-polimer nanokompozitlarini olish usullari:

Eritmada aralashtirish (solution intercalation)

Bu usulda polimer erituvchida eritiladi, so'ngra bentonit qo'shiladi va aralashtiriladi [Ray, 2003].

Texnologik sxema:

1. Bentonitni tayyorlash: Organogilga aylantirish (agar polimer gidrofob bo'lsa)
2. Polimerni eritish: Uyghun erituvchida (suv, toluol, xloroform va h.k.)
3. Aralashtirish: Bentonit qo'shiladi va bir necha soat aralashtiriladi
4. Erituvchini bug'latish: Yupqa plyonka olinadi
5. Quritish: 60-100°C da

Afzalliklari: Oddiy, harorat talab qilmaydi, yaxshi interkalatsiya.

Kamchiliklari: Erituvchi sarfi, ekologik muammolar.

Eritmada polimerizatsiya (in-situ polymerization)

Bu usulda monomer bentonit bilan aralashtiriladi, so'ngra polimerizatsiya amalga oshiriladi [Alexandre, 2000].

Texnologik sxema:

1. Bentonitni tayyorlash: Organogilga aylantirish (monomer bilan uyg'unlik uchun)
 2. Monomer bilan aralashtirish: Bentonit monomerga qo'shiladi va shishish uchun vaqt beriladi
 3. Polimerizatsiya: Initsiator qo'shiladi, harorat va vaqt boshqariladi
 4. Tozalash: Reaksiyaga kirishmagan monomerlarni olib tashlash
- Afzalliklari: Yuqori darajadagi eksfoliatsiya, monomerlar qatlamlar orasiga oson kiradi.

Kamchiiklari: Polimerizatsiya kinetikasiga ta'sir qilishi mumkin.

Eritmada aralashtirish (melt intercalation)

Bu usulda polimer eritiladi va bentonit bilan aralashtiriladi (ekstruziya) [Vaia, 1993].

Texnologik sxema:

1. Bentonitni tayyorlash: Organogil

2. Aralashtirish: Polimer eritiladi va bentonit bilan birga ekstruderda aralashtiriladi

3. Shakllantirish: Granulyatsiya yoki to'g'ridan-to'g'ri buyumlar tayyorlash

Afzalliklari: Erituvchi ishlatilmaydi, ekologik toza, sanoatda keng qo'llaniladi.

Kamchiliklari: Yuqori harorat (polimer erish harorati) talab etiladi, ba'zi polimerlar uchun mos kelmaydi.

Bentonit asosidagi gidrogellar

Gidrogellar – bu suvda shishadigan, uch o'lchamli tarmoqli polimerlardir. Ular ko'p miqdorda suvni (o'z og'irligidan 10-1000 marta ko'p) yutish va ushlab turish qobiliyatiga ega.

Gidrogellarning turlari

Gidrogellar tarmoq tuzilishiga ko'ra ikki turga bo'linadi:

1. Fizik gidrogellar: Tarmoq fizik kuchlar (vodorod bog'lari, ion bog'lari, kristallitlar) hisobiga hosil bo'ladi. Qaytar, erituvchi ta'sirida erishi mumkin.

2. Kimyoviy gidrogellar: Tarmoq kovalent bog'lar hisobiga hosil bo'ladi. Qaytmas, faqat kimyoviy parchalanish bilan yo'q qilinadi.

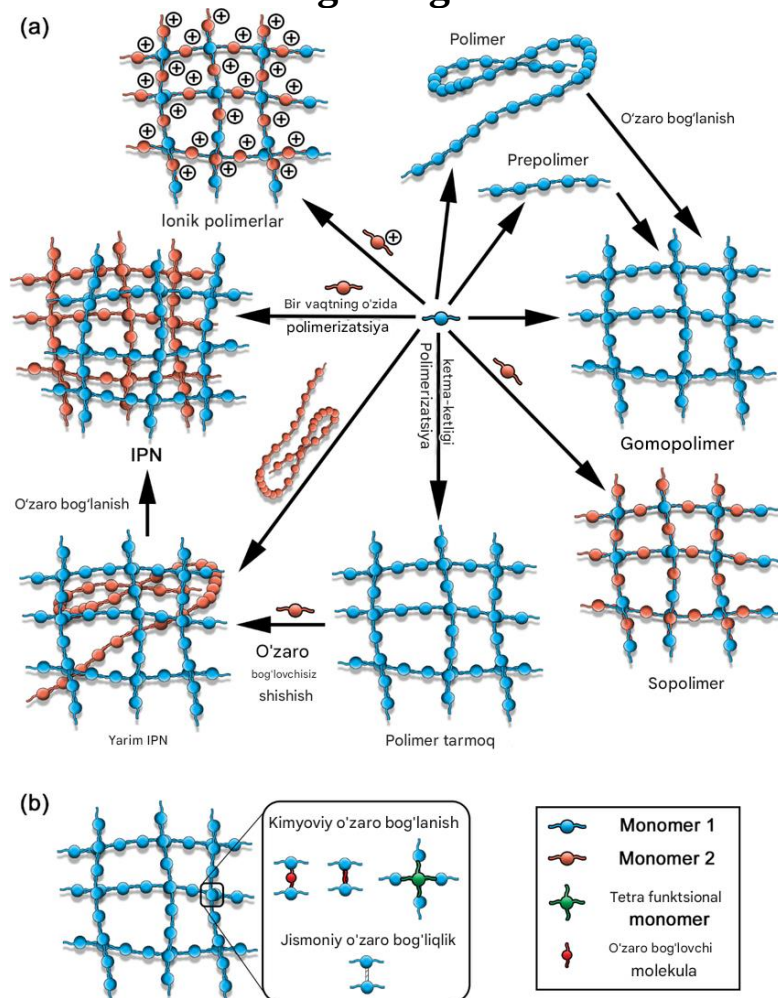
Bentonit-polimer gidrogellarning afzalliklari

Bentonit qo'shilishi gidrogellarning xossalarini yaxshilaydi:

109-jadval. Bentonit qo'shilishining gidrogel xossalariga ta'siri

Xossa	Bentonitsiz gidrogel	Bentonitli gidrogel	O'zgarish
Shishish darajasi, g/g	20-50	30-80	1.5-2 marta ortadi
Mexanik mustahkamlik	Past	O'rtacha-yuqori	Sezilarli ortadi
Sorbsion qobiliyat (metallar)	Past	O'rtacha-yuqori	Ortadi
Termik barqarorlik	O'rtacha	Yuqori	20-30°C ortadi
Qayta foydalanish imkoniyati	Cheklangan	Yaxshi	–

72-rasm. Hidrogelning tuzilishi sxemasi



72-rasmda kimyoviy va fizik gidrogellarning tuzilishi ko'rsatilgan.

Akril kislota hosilalari asosidagi gidrogellar

Sartbayeva va boshqalar tomonidan Qozog'istonning Tagan koni bentoniti asosida bir qator polimer-gil kompozitlari sintez qilingan.

Tagan koni bentonitining xarakteristikasi

110-jadval. Tagan koni bentonitining kimyoviy tarkibi

[Sartbayeva, 2023]

Komponent	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	LOI
Mass. %	62.6	16.65	3.44	1.63	3.37	2.59	0.98	0.29	8.45

Mineralogik tarkibi:

- Montmorillonit: 65-70%
- Kvars: 12-18%
- Karbonatlar: 3-5%
- Dala shpatlari: 4-6%

Kation almashinish sig'imi (KAS): 0.65 ekv/kg

Bentonitni tozalash va modifikatsiyalash

D.P. Salo usuli bo'yicha tozalash

Bentonitni qo'shimcha minerallardan tozalash uchun quyidagi usul qo'llanilgan:

1. 10% li gil suspenziyasi tayyorlanadi
2. 2.5-3 daqiqa tindiriladi, so'ngra suyuq qism dekantatsiya qilinadi (mayda zarrachalar)
3. Cho'kmaga yana suv qo'shiladi va jarayon takrorlanadi (3 marta)
4. Sentrifugalash orqali ajratiladi
5. 40°C da quritiladi

111-jadval. Tozalashdan oldin va keyin bentonitning mineralogik tarkibi

Mineral	Tabiiy bentonit, %	Tozalangan bentonit, %
Montmorillonit	43	32.8
Kvarts	15.7	23.6
Sepiolit	9.5	22.6
Klinoxrizotil	4.9	10.9
Pirofillit	12.0	—
Kalsit	—	3.9
Albit	—	3.4
Amorf faza	—	35.4

Tahlil: Tozalash jarayonida montmorillonit miqdori kamaygan, ammo amorf faza ko'paygan. Bu sentrifugalash jarayonida kristall tuzilishning qisman buzilishi bilan bog'liq.

Bentonitni ultratovush bilan faollashtirish

Bentonitning 5% li suspenziyasi ultratovush (24 kHz, 130 Vt) bilan 8.5 daqiqa ishlangan. Ultratovush ta'sirida zarrachalar maydalanadi, kavitatsiya hisobiga agregatlar buziladi va dispersiya barqarorligi ortadi.

Bentonitni silanlash

Bentonitni organofil qilish uchun 3-metakriloksipropiltrimetoksisilan (MPTMS) bilan silanlash qo'llanilgan.

Silanlash sharoitlari:

- MPTMS miqdori: 2.5 g / 10 g bentonit
- Erituvchi: etanol : suv = 70:30 yoki 90:10
- pH: kislotali (sirka kislota bilan)
- Harorat: 50°C
- Vaqt: 6 soat (orbital chayqatgichda)

112-jadval. Silanlangan bentonitning xossalari

Namuna	d001, Å	S _{BET} , m ² /g	Izoh
Tabiiy bentonit	12.5	450	—
MPTMS-silanlangan (70:30)	14.3	380	Interkalatsiya
MPTMS-silanlangan (90:10)	14.3	390	Interkalatsiya

Gidrogellarni sintez qilish

GEA-AA-BGU asosidagi kompozit gidrogellar

GEA – 2-gidroksietilakrilat

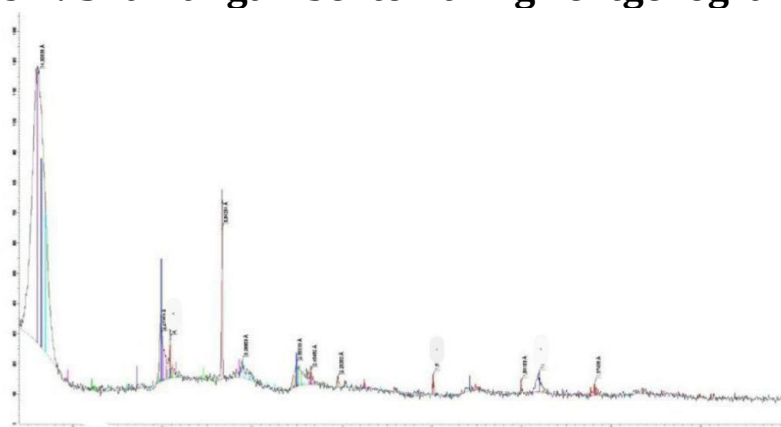
AA – agar-agar

BGU – ultratovush bilan faollashtirilgan bentonit

Sintez usuli:

1. 5 g bentonit va 100 ml distillangan suv aralashtiriladi
2. 5 g agar-agar qo‘shiladi va 55°C da 20 daqiqa aralashtiriladi
3. 10 ml GEA va 0.16 g MBA (N,N'-metilenbisakrilamid) qo‘shiladi
4. Ultratovush (24 kHz, 130 Vt) bilan 50 daqiqa ishlov beriladi (5 daqiqa ishlov, 5 daqiqa pauza – 5 sikl)
5. Initsiatorlar qo‘shiladi: 0.06 wt.% Na persulfat, 0.07 wt.% K persulfat
6. 50°C da vakuumda 20-80 daqiqa polimerizatsiya
7. Etil spirtida 2 soat saqlanadi, so‘ngra suv bilan yuviladi
8. Kesiladi va xona haroratida quritiladi

73-rasm. Silanlangan bentonitning rentgenogrammasi



73-rasmda rentgenogramma ko‘rsatilgan.

113-jadval. GEA-AA-BGU gidrogellarining polimerizatsiya vaqtiga bog‘liqligi

Polimerizatsiya vaqti, min	Kompozitsiya holati	Izoh
20	Yopishqoq suyuqlik	Polimerizatsiya boshlangan
40	Yumshoq gel	Tarmoq shakllangan
60	Kuchli gel	Optimal
80	Qattiq, mo‘rt	Juda ko‘p kesishgan

GEA-AA-BGS asosidagi kompozit gidrogellar

BGS – silanlangan bentonit

Sintez usuli:

1. 5 g BGS va 100 ml suv aralashtiriladi
2. 5 g agar-agar qo‘shiladi, 55°C da 20 daqiqa aralashtiriladi
3. 10 ml GEA qo‘shiladi
4. 60°C gacha qizdiriladi
5. 1.09% MBA, 0.06% Na persulfat, 0.07% K persulfat qo‘shiladi
6. 50°C da vakuumda 60 daqiqa polimerizatsiya
7. Tozalash va quritish

GEA-AAm-AA asosidagi kompozit gidrogellar

AAm – akrilamid

Sintez usuli:

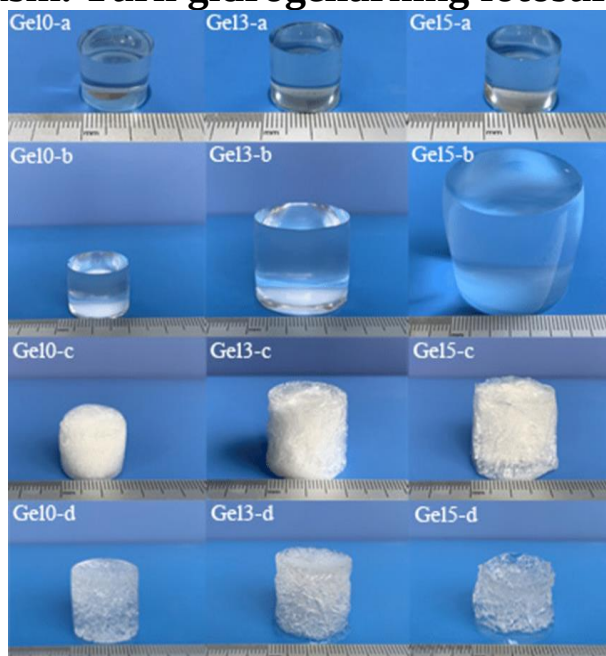
1. 5 g BGS va 100 ml suv aralashtiriladi
2. 5 g agar-agar qo‘shiladi, 55°C da 20 daqiqa aralashtiriladi
3. AAm va GEA qo‘shiladi (AAm:GEA = 70:30 wt.%)
4. 60°C gacha qizdiriladi
5. 0.19% MBA, 0.06% Na persulfat, 0.07% K persulfat qo‘shiladi
6. 50°C da vakuumda 60 daqiqa polimerizatsiya
7. Tozalash va quritish

GEA-AA asosidagi gidrogel (bentonitsiz)

Taqqoslash uchun bentonitsiz gidrogel ham olingan:

1. 5% agar-agar suspenziyasi tayyorlanadi
2. 55°C da 20 daqiqa aralashtiriladi
3. 10 ml GEA qo‘shiladi
4. 60°C gacha qizdiriladi
5. 0.79% MBA, 0.06% Na persulfat, 0.07% K persulfat qo‘shiladi
6. 50°C da vakuumda 90 daqiqa polimerizatsiya
7. Tozalash va quritish

74-rasm. Turli gidrogellarning fotosuratlari



74-rasmda gidrogellarning fotosuratlari ko'rsatilgan.

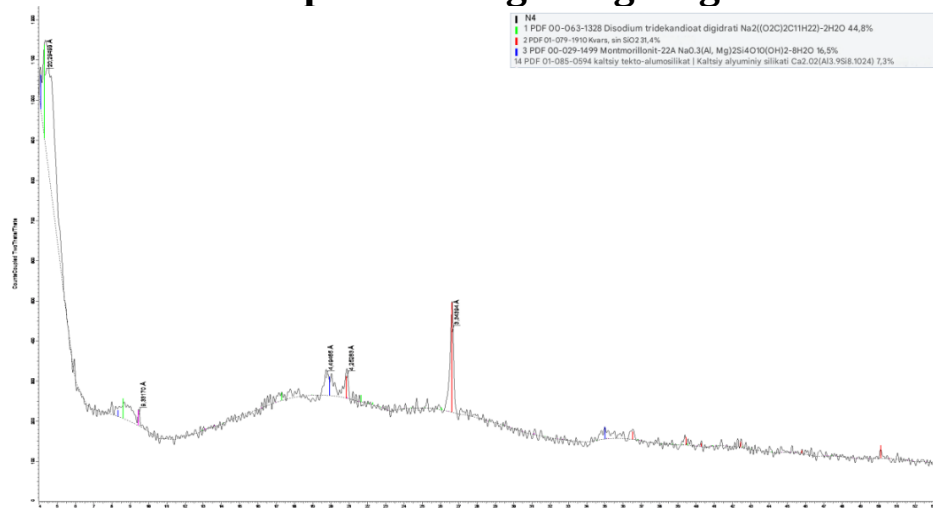
Gidrogellarning tuzilishi va xossalari

Rentgenofazali tahlil (XRD)

114-jadval. Kompozitlarning rentgen ma'lumotlari [Sartbayeva, 2023]

Namuna	d001, Å	Izoh
Tabiiy	Tagan bentoniti 12.5	—
GEA-AA-BGU	16.96	Interkalatsiya (3.69 nm ga ortgan)
GEA-AAm-AA-BGS	18.97	Interkalatsiya (5.7 nm ga ortgan)

75-rasm. Kompozitlarning rentgenogrammalari



Tahlil:

GEA-AA-BGU da d001 16.96 Å gacha ortgan – GEA va agar-agar qatlamlar orasiga kirgan

GEA-AAm-AA-BGS da d001 18.97 Å gacha ortgan – polimer qatlamlar orasiga chuqurroq kirgan

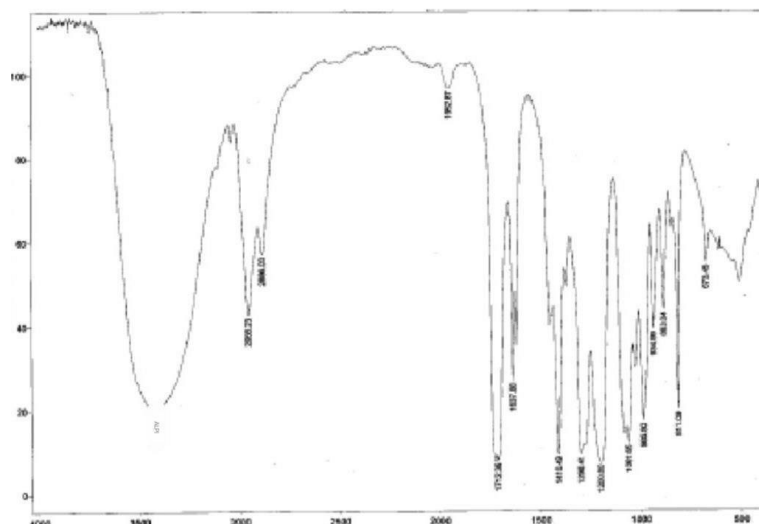
Silanlangan bentonit polimer bilan yaxshiroq aralashgan

Infraqizil spektroskopiya (FT-IR)

115-jadval. Kompozitlarning IQ-spektrlaridagi asosiy yutilish polosalari.

Toʻlqin soni, sm^{-1}	Bogʻlanish	Tabiiy bentonit	GEA-AA-BGU	GEA-AAm-AA-BGS	Izoh
3620-3630	OH (strukturaviy)	Kuchli	Kuchsiz	Kuchsiz	Degidroksillanish
3400-3450	OH (suv)	Keng, kuchli	Oʻzgargan	Oʻzgargan	Suv miqdori oʻzgargan
2950-2850	C-H (CH_3 , CH_2)	Yoʻq	Kuchsiz	Oʻrtacha	Polimer
1720-1730	C=O (efir)	Yoʻq	Oʻrtacha	Oʻrtacha	GEA
1640-1660	C=O (amid)	Yoʻq	Yoʻq	Oʻrtacha	Aam
1638	C=C	Yoʻq	Kuchsiz	Kuchsiz	Qoldiq monomer
1030-1040	Si-O-Si	Kuchli	Kuchli	Kuchli	Silikat qatlami
520-530	Si-O-Al	Oʻrtacha	Kuchsiz	Kuchsiz	Al bilan bogʻlanish
460-470	Si-O-Si	Oʻrtacha	Oʻrtacha	Oʻrtacha	–

76-rasm. Kompozitlarning IQ-spektrlari



76-rasmda IQ-spektrlar ko'rsatilgan.

Tahlil:

1638 cm^{-1} dagi C=C cho'qqisining yo'qolishi polimerizatsiya sodir bo'lganligini ko'rsatadi

2950-2850 cm^{-1} da yangi cho'qqilar polimer mavjudligini tasdiqlaydi

GEA-AAm-AA-BGS spektrida 1640-1660 cm^{-1} amid cho'qqisi kuzatiladi

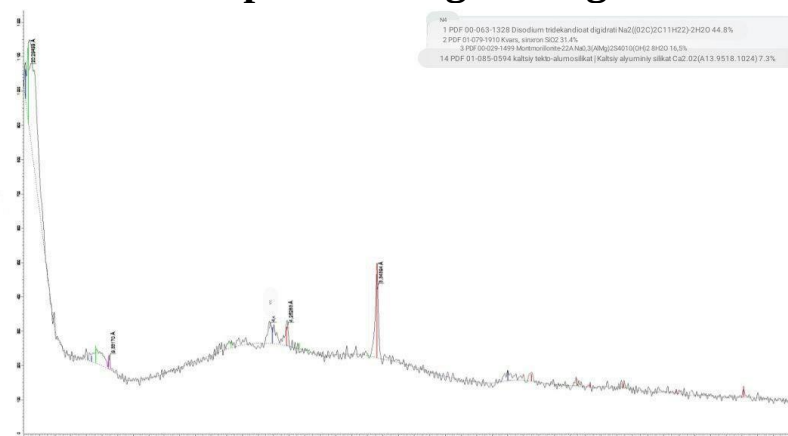
1030-1040 cm^{-1} Si-O-Si cho'qqisi saqlanadi – bentonit strukturasi saqlangan

Termik xususiyatlar (TGA/DTA)

116-jadval. Kompozitlarning termik tahlil natijalari.

Namuna	1- cho'qqi, °C	Massa yo'qotish, %	2- cho'qqi, °C	Massa yo'qotish, %	Qoldiq massa, %
Tabiiy bentonite	120	8	520	4	88
GEA-AA	100	10	380	50	40
GEA-AA-BGU	110	12	400	45	43
GEA-AAm-AA-BGS	120	8	420	40	52

77-rasm. Kompozitlarning termogrammalari.



77-rasmda termogrammalar ko'rsatilgan.

Tahlil:

Bentonit qo'shilishi polimerlarning termik barqarorligini oshiradi

GEA-AAm-AA-BGS eng yuqori termik barqarorlikka ega (2-cho'qqi 420°C)

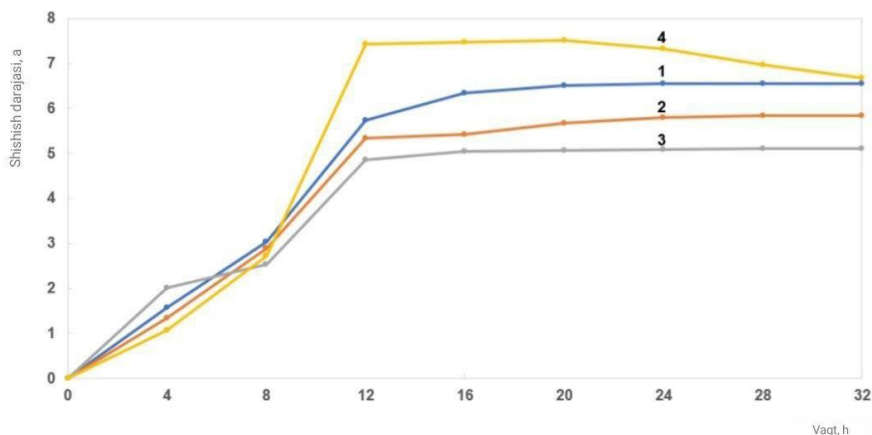
Bentonitli kompozitlarda qoldiq massa yuqori (40-50%) – bu bentonitning mineral qismi

Gidrogellarning shishish kinetikasi

117-jadval. Hidrogellarning shishish darajasi (g suv/g gel)
[Sartbayeva, 2023]

Namuna	2 soat	4 soat	8 soat	12 soat	24 soat
GEA-AA (bentonitsiz)	3.5	5.0	6.5	7.0	7.0
GEA-AA-BGU (UZ bentonit)	4.0	5.5	7.5	8.0	8.0
GEA-AA-BGS (silanlangan)	4.5	6.0	8.5	8.8	8.8
GEA-AAm-AA-BGS	3.0	4.5	6.5	7.2	7.2

78-rasm. Hidrogellarning shishish kinetikasi



78-rasmda shishish kinetikasi grafigi ko'rsatilgan.

Tahlil:

- Bentonit qo'shilishi gidrogellarning shishish darajasini oshiradi
- Eng yuqori shishish GEA-AA-BGS da kuzatiladi (8.8 g/g)
- GEA-AAm-AA-BGS da shishish pastroq (7.2 g/g), chunki akrilamid polimer zanjirlari zichroq tarmoq hosil qiladi
- Shishish muvozanati 12 soatda erishiladi
- Shishish kinetikasi ikki bosqichli: dastlab tez (2-8 soat), keyin sekin (8-12 soat)

Kompleks hosil qilish xususiyatlari (Fe^{3+} ionlari bilan)

118-jadval. Hidrogellarning Fe^{3+} ionlarini sorbsiyalash qobiliyati

Namuna	Fe^{3+} sorbsiyasi, mg/g ($C=0.1$ M)	Sorbsiya, %
GEA-AA	5	10
GEA-AA-BGU	15	30
GEA-AA-BGS	25	50
GEA-AAm-AA-BGS	30	60

Tahlil:

- Bentonitsiz gidrogel Fe^{3+} ni yomon yutadi
- Bentonit qo'shilishi sorbsiyani oshiradi
- Silanlangan bentonitli gidrogel yuqori sorbsiyaga ega (25 mg/g)
- Akrilamidli gidrogel eng yuqori sorbsiyani ko'rsatadi (30 mg/g) – amid guruhlari Fe^{3+} bilan kompleks hosil qiladi

79-rasm. Hidrogellarning Fe^{3+} bilan komplekslari (fotosurat)
[Sartbayeva, 2023]



79-rasmda Fe^{3+} bilan bo'yalgan gidrogellarning fotosurati ko'rsatilgan.

IQ-spektrda o'zgarishlar:

583 sm^{-1} da yangi cho'qqi paydo bo'ladi (Fe-O bog'i)

3400 sm^{-1} da OH cho'qqisi o'zgaradi (koordinatsiya)

Hidrogellarning amaliy qo'llanilishi

Tuproq tuzilishiga ta'siri

Hidrogellar tuproqqa qo'shilganda uning fizik xususiyatlarini yaxshilaydi:

119-jadval. Hidrogellarning tuproq xossalariga ta'siri

Ko'rsatkich	Nazorat (gidrogelsiz)	GEA-AA-BGS qo'shilgan	O'zgari sh
Tuproq zichligi, g/sm^3	1.35	1.20	-11%
Suv sig'imi, %	25	38	+52%
G'ovaklik, %	45	55	+22%
Struktura	Zich, changsimon	Yumshoq, havodor	—

80-rasm. Hidrogel qo'shilgan va qo'shilmagan tuproqning fotosuratlari



80-rasmda tuproq fotosuratlari ko'rsatilgan.

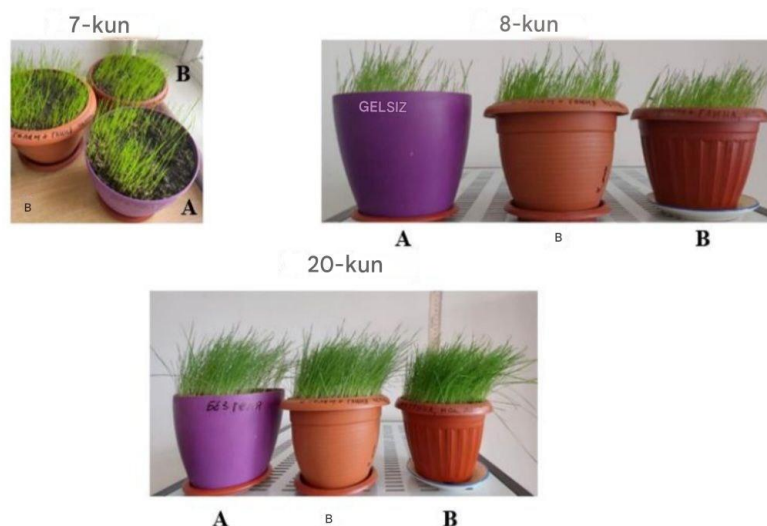
O'simliklar o'sishiga ta'siri

Gidrogellarning o'simliklar o'sishiga ta'siri maysazor o'ti urug'larida o'rganilgan.

120-jadval. Hidrogellarning maysazor o'ti o'sishiga ta'siri (20-kun)

Variant	Unib chiqish, %	O'simlik balandligi, sm	Biomassa, g
Nazorat (gidrogelsiz)	70	5.2	1.2
GEA-AA-BGU qo'shilgan	85	6.8	1.8
GEA-AA-BGS qo'shilgan	92	7.5	2.1

81-rasm. Hidrogellarning o'simliklar o'sishiga ta'siri.



81-rasmda o'simliklar fotosuratlari ko'rsatilgan.

Tahlil:

Gidrogel qo‘shilgan tuproqda unib chiqish 15-22% ga yuqori

O‘simliklar balandligi 1.3-1.4 marta ko‘p

Biomassa 1.5-1.75 marta ko‘p

Eng yaxshi natijalar silanlangan bentonitli gidrogel (GEA-AA-BGS)

da

Suvni tozalashda qo‘llanilishi

Gidrogellar og‘ir metall ionlarini (Fe^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+}) suvdan yutishda ishlatilishi mumkin. Ular bir necha marta qayta ishlatish imkoniyatiga ega (sikllar oralig‘ida desorbsiya).

Boshqa polimerlar bilan nanokompozitlar

Bentonit-poliamid nanokompozitlari

Poliamid (neylon) bilan bentonit nanokompozitlari avtomobil sanoatida keng qo‘llaniladi. Ular yuqori mexanik mustahkamlik va issiqlik barqarorligiga ega.

Bentonit-polietilen nanokompozitlari

Polietilen-bentonit nanokompozitlari qadoqlash materiallari sifatida ishlatiladi. Gaz o‘tkazuvchanligi 50-80% kamayadi.

Bentonit-polistirol nanokompozitlari

Polistirol-bentonit nanokompozitlari yong‘inga chidamlilikni oshiradi va issiqlik izolyatsiyasi xususiyatlarini yaxshilaydi.

Bentonit-epoksi nanokompozitlari

Epoksi-bentonit nanokompozitlari yuqori mexanik xususiyatlarga ega va yelimlar, qoplamalar sifatida ishlatiladi.

121-jadval. Turli polimerlar bilan nanokompozitlarning qiyosiy tahlili

Polimer	Qo‘llanilishi	Asosiy afzalliklari	Bentonit miqdori, %
Poliamid (neylon)	Avtomobil detallari	Yuqori mustahkamlik, issiqlik barqarorligi	2-5
Polietilen	Qadoqlash	To‘siq xususiyatlari	3-7
Polipropilen	Avtomobil, qadoqlash	Qattiqlik, olovbardoshlik	3-5
Polistirol	Izolyatsiya	Yong‘inga chidamlilik	3-5
Epoksi	Yelimlar, qoplamalar	Mexanik xususiyatlar	1-3

Poliuretan	Ko‘piklar, elastomerlar	Mexanik xususiyatlar	1-5
Polivinil spirti	Gidrogellar, plyonkalar	Suvda eruvchanlik, biodegradatsiya	5-10
Poliakrilamid	Gidrogellar, flokulyantlar	Suvni yutish, sorbsiya	5-15

Xulosa va tendensiyalar.

1. Bentonit-polimer nanokompozitlari – polimer matritsasiga nano-o'lchamli bentonit zarrachalarining kiritilishi natijasida olinadigan materiallar bo'lib, ular oddiy kompozitlarga nisbatan yuqori mexanik, termik va to'siq xususiyatlariga ega.

2. Nanokompozitlar turlari: oddiy kompozit, interkalatsiyalangan ($d_{001}=20-40\text{\AA}$), eksfoliatsiyalangan ($d_{001}>80\text{\AA}$). Eksfoliatsiyalangan struktura eng yuqori xossalarni beradi.

3. Olish usullari: eritmada aralashtirish, eritmada polimerizatsiya, eritmada aralashtirish (ekstruziya). Har bir usulning o'z afzalliklari va kamchiliklari bor.

4. Sartbayeva [2023] tadqiqotlari asosida Tagan koni bentoniti asosida akril kislota hosilalari, agar-agar va bentonit asosida gidrogellar sintez qilingan:

Bentonit ultratovush bilan faollashtirilgan (BGU) va silanlangan (BGS)

Rentgen tahlili d_{001} ning 16.96-18.97 Å gacha ortganligini ko'rsatgan (interkalatsiya)

IQ-spektrlar polimerizatsiya sodir bo'lganligini va polimerning bentonit bilan bog'langanligini tasdiqlagan

5. Gidrogellarning xossalari:

Shishish darajasi 7.0-8.8 g/g (bentonitsiz gidrogelda 7.0 g/g)

Eng yuqori shishish GEA-AA-BGS da (8.8 g/g)

Fe^{3+} sorbsiyasi 5-30 mg/g, eng yuqori GEA-AAm-AA-BGS da (30 mg/g)

Termik barqarorlik 400-420°C gacha

6. Amaliy qo'llanilishi:

Tuproq tuzilishini yaxshilaydi: zichlik 11% kamayadi, suv sig'imi 52% ortadi

O'simliklar o'sishini tezlashtiradi: unib chiqish 15-22% yuqori, biomassa 1.5-1.75 marta ko'p

Suvni tozalashda og'ir metallar (Fe^{3+}) sorbenti sifatida ishlatilishi mumkin

7. Bentonitni modifikatsiyalash (silanlash, ultratovush) polimer bilan uyg'unlikni oshiradi va kompozit xossalarini yaxshilaydi.

8. Bentonit-polimer nanokompozitlari avtomobil sanoati, qadoqlash, qurilish, qishloq xo'jaligi va ekologiya sohalarida keng qo'llanilish imkoniyatiga ega.

XULOSA

Ushbu monografiyada bentonit gillarining geologiyasi, mineralogiyasi, fizik-kimyoviy xossalari, modifikatsiyalash usullari va sanoatning turli tarmoqlarida qo'llanilishi keng qamrovli tahlil qilindi. O'zbekiston, Tojikiston, Qozog'iston, Rossiya, Belarus, Turkiya va Hindiston olimlarining ko'p yillik tadqiqotlari asosida quyidagi asosiy xulosalar chiqarildi:

1. Bentonitning tabiati va xossalari

Bentonit – asosan montmorillonitdan tashkil topgan, qatlamli tuzilishga ega noyob mineraldir. Uning asosiy xossalari – yuqori shishuvchanlik (natriyli bentonitlar 15-20 marta), kation almashinish sig'imi (80-150 mg-ekv/100g), yuqori solishtirma yuza (400-800 m²/g) va reologik xususiyatlari uni sanoatning 200 dan ortiq tarmog'ida qo'llash imkonini beradi.

Natriyli bentonitlar (asosan AQSh, Turkiya, Gruziya konlari) yuqori shishuvchanlik va kolloid xususiyatlarga ega. Kalsiyli bentonitlar (Markaziy Osiyo, Rossiya, Yevropa konlari) keng tarqalgan, ammo soda aktivatsiyasini talab qiladi.

2. Modifikatsiyalash usullarining samaradorligi

Kislotali aktivatsiya [Donayev, 2025; Emomov, 2005] bentonitning sorbsion xususiyatlarini oshirishning samarali usuli hisoblanadi. Optimal sharoitlar (90°C, 45-60 daqiqa, 20-25% HCl, 100% stexiometrik doza) da Al₂O₃ ekstraksiyasi 93-94%, Fe₂O₃ ekstraksiyasi 84-85% ga yetadi.

Olingan eritma (AlCl₃ va FeCl₃ aralashmasi) suvni tozalashda samarali koagulyant sifatida ishlatilishi mumkin. Kinetik tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, past haroratlarda (20-60°C) jarayon kinetik sohada (E_a=50-65 kJ/mol), yuqori haroratlarda (60-90°C) diffuzion sohada (E_a≈15 kJ/mol) boradi.

Soda aktivatsiyasi kalsiyli bentonitlarni natriyli bentonitlarga aylantirishning asosiy usuli bo'lib, shishishni 8-10 ml/2g dan 25-30 ml/2g gacha oshiradi. Optimal soda miqdori 3-5%, namlik 30-40%.

Mexanoaktivatsiya [Sartbayeva, 2023; Buntin, 2021] bentonit zarrachalarining o'lchamini nano-o'lchamgacha (20-200 nm) kamaytirish, solishtirma yuzani 800-1000 m²/g gacha oshirish va reaksiyon faollikni oshirish imkonini beradi. Planetar tegirmonlarda 30-60 daqiqa maydalash optimal.

Ultratovush bilan ishlov (20-40 kHz, 10-20 daqiqa) bentonit agregatlarini maydalaydi, suspenziyalarning barqarorligini oshiradi va kimyoviy reaksiyalarni tezlashtiradi.

Organik modifikatsiya [Panasyugin, 2022] to'rtlamchi ammoniy birikmalari (CTAB, DODMAC) yordamida organogillar olish imkonini beradi. Organogillar gidrofob xususiyatga ega bo'lib, organik ifloslantiruvchilarni (fenol, neft mahsulotlari) yuqori darajada (20-25 mg/g) yutadi. Setilpiridiniyli organogillar fenol uchun yuqori selektivlikka ega. Silan birikmalari (MPTMS) bilan modifikatsiyalangan bentonit polimerlar bilan yaxshi aralashadi.

Pillared gillar (ustunli gillar) [Panasyugin, 2022] – bentonitni metall poligidroksokomplekslari (Al_{13} , Zr_4 , Fe) bilan interkalatsiyalash va kuydirish orqali olinadigan yuqori termik barqaror (500-800°C) materiallar. Geteroyadroli komplekslar (Fe-Zr, Fe-Al, Fe-Cr) gomoyadrolilarga nisbatan yuqori xossalar beradi. Fe-Zr pillared gillar ($\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Zr})=0.05-0.25$) 24.2 Å gacha d001, 280 m²/g gacha S_{BET} va 700°C gacha termik barqarorlikka ega.

Bentonit-polimer gidrogellar [Sartbayeva, 2023] akril kislota hosilalari, agar-agar va bentonit asosida sintez qilingan. Rentgen tahlili d001 ning 16.96-18.97 Å gacha ortganligini ko'rsatdi (interkalatsiya). Shishish darajasi 7.0-8.8 g/g, Fe^{3+} sorbsiyasi 30 mg/g gacha. Gidrogellar tuproq tuzilishini yaxshilaydi (zichlik 11% kamayadi, suv sig'imi 52% ortadi) va o'simliklar o'sishini tezlashtiradi (biomassa 1.5-1.75 marta ko'p).

3. Amaliy qo'llanilishi

Sorbentlar [Ismatov, Donayev, 2025] – tabiiy va modifikatsiyalangan bentonitlar og'ir metallarni (Pb^{2+} 45-80 mg/g, Cd^{2+} 32-45 mg/g, Cu^{2+} 28-40 mg/g) va organik ifloslantiruvchilarni yutishda samarali. Kislotali aktivatsiya sorbsion sig'imni 1.5-2 marta oshiradi.

Katalizatorlar [Panasyugin, 2022] – pillared gillar m-ksilol izomerlanishida (konversiya 18-30%) va toluol alkillanishida (p-selektivlik 98-100%) yuqori faollik ko'rsatadi. Seolit-pillared clay kompozitlari ayniqsa samarali.

Burg'ilash eritmalari [Hindiston Kon byurosi, 2015; Togan, 2006] – bentonit burg'ilash eritmalarining asosiy komponenti hisoblanadi. Organobentonitlar suv bo'lmagan muhitlarda (aseton, MEK, n-geksan) yuqori konsentratsiyalargacha (325-350 funt/barrel) nasos bilan haydash imkonini beradi.

Qurilish [Ismatov, Donayev, 2025] – bentonit beton qo'shimchasi sifatida mustahkamlikni 15-20% oshiradi, gidroizolyatsiya materiallari (bentonit matlari) suv o'tkazmaslikni ta'minlaydi.

Qishloq xo‘jaligi [Sartbayeva, 2023] – bentonit va bentonit-polimer gidrogellar tuproq tuzilishini yaxshilaydi, suv sig‘imini oshiradi, hosildorlikni 10-15% oshiradi.

Oziq-ovqat sanoati – kislotali aktivatsiyalangan bentonitlar yog‘larni oqartirishda (85-95%), vino va sharbatlarni tiniqlashtirishda ishlatiladi.

4. Iqtisodiy tahlil va bozor istiqbollari

Jahon bentonit bozori 2000-2023 yillarda 11 million tonnadan 20.8 million tonnaga o‘sdı (deyarli 2 barobar). Yetakchi ishlab chiqaruvchilar: AQSh (4.5 mln. t), Xitoy (4.0 mln. t), Turkiya (3.7 mln. t), Hindiston (2.0 mln. t). 2030 yilga borib bozor hajmi 4.5 mlrd \$ ga yetishi kutilmoqda.

Hindiston [Hindiston Kon byurosi, 2015] katta bentonit zahiralariga ega (582.9 mln. t), yillik ishlab chiqarish ~1.5 mln. t, eksport ~1.6 mln. t (asosan Ukraina, Indoneziya, Malayziyaga). Ashapura Minechem, Gimpex Imerys kabi yirik kompaniyalar faoliyat yuritadi.

5. Muammolar va rivojlanish istiqbollari

Asosiy muammolar – mahalliy bentonitlarning past sifati (kalsiyli bentonitlar, montmorillonit miqdori 50-70%), texnologik murakkabliklar, ekologik muammolar (oqova suvlar, chang) va raqobat.

Kelajak istiqbollari – nanobentonit va nanokompozitlar, pillared gillar, organogillar, gidrogellar, biomeditsinada qo‘llanilish, energetika (vodorod saqlash, CO₂ capture) sohalarida yangi tadqiqotlar va sanoat qo‘llanilishi kutilmoqda.

6. O‘zbekiston uchun tavsiyalar [Ismatov, Donayev, 2025]

O‘zbekiston bentonit konlarini batafsil o‘rganish, modifikatsiyalash texnologiyalarini joriy etish, import o‘rnini bosuvchi mahsulotlar ishlab chiqarish, ilmiy-tadqiqot ishlarini kengaytirish, sanoat korxonalari bilan hamkorlik qilish, xalqaro hamkorlikni rivojlantirish va eksport salohiyatini oshirish tavsiya etiladi.

Monografiyaning asosiy ilmiy yangiliklari

1. O‘zbekiston, Tojikiston va Qozog‘iston bentonitlarining kislotali parchalanish kinetikasi birinchi marta batafsil o‘rganildi va optimal sharoitlar aniqlandi [Donayev, 2025; Emomov, 2005].

2. Geteroyadroli pillared gillar (Fe-Zr, Fe-Al, Fe-Cr, Fe-Ni) ning sintezi va xossalari tizimli ravishda o‘rganildi, ularning gomoyadrolilarga nisbatan yuqori termik barqarorligi va katalitik faolligi isbotlandi [Panasyugin, 2022].

3. Bentonit-polimer gidrogellarning sintezi va ularning tuproq tuzilishiga, o‘simliklar o‘sishiga ta’siri birinchi marta o‘rganildi [Sartbayeva, 2023].

4. Seolit-pillared clay kompozit katalizatorlarining toluol alkilaniishidagi yuqori p-selektivligi (98-100%) aniqlandi [Panasyugin, 2022].

5. Bentonitning suv bo'lmagan muhitlardagi reologik xususiyatlari va ulardan yuqori konsentratsiyali suspenziyalar tayyorlash imkoniyati ko'rsatildi [Togan, 2006].

6. O'zbekiston bentonitlarining fizik-kimyoviy xossalari va ularni modifikatsiyalash imkoniyatlari birinchi marta tizimli ravishda o'rganildi [Ismatov, Donayev, 2025].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Ismatov S.Sh., Donayev H.T., Komilov A.Sh. Bentonit: struktura, svoystva i primeneniye v promyshlennosti // Ilmiy maqola, Denov, 2025.
2. Bergaya F., Theng B.K.G., Lagaly G. Handbook of Clay Science. – Elsevier, 2006. – 1224 p.
3. Donayev H.T., Nematullayeva Sh.H., Mengboyeva O.T., Umbarova A.A. Bentonit gillarining kislota asosida parchalanishini fizik-kimyoviy o'rganish. – Denov, 2025.
4. Emomov K.F., Ruziev D.R., Mirsaidov U.M. Sharshar konining bentonit gillarining kislotali parchalanishi // Dok. AN RT. – 2005. – V.XVIII, №8. – P. 42-48.
5. Grim R.E. Clay Mineralogy. – McGraw-Hill, New York, 1968.
6. Güven N. Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses. – Developments in Sedimentology, Elsevier, 1988.
7. Hindiston Kon byurosi. Bentonite. – Indira Bhavan, Nagpur, 2015.
8. Murray H.H. Applied Clay Mineralogy. – Elsevier, Amsterdam, 2007.
9. Panasyugin A.S., Tsyganov A.R., Masherova N.P. Modifikatsiyalangan bentonit gillari sorbentlar, katalizatorlar, faol katalitik fazalarni tashuvchilar sifatida. – Minsk: BDTU, 2022. – 198 b.
10. Sabitov A.A. va boshq. Mestorojdeniya bentonitov Respubliki Tatarstan: geologiya i genezis, napravleniya ispolzovaniya сырыя // Georesursy. – 2015. – T.1. – № 4(63). – S. 38-43.
11. Sartbayeva va boshq. Akril kislota hosilalari, agar-agar va modifikatsiyalangan bentonit gillari asosida polimersilikat kompozit gidrogellar sintezi. – Dissertatsiya, Qozog'iston, 2023.
12. Togan Uskarcı. Bentonite Suspensions in Non-Aqueous Media. – Master's Thesis, Middle East Technical University, 2006.
13. USGS (United States Geological Survey). Mineral Commodity Summaries 2023. – Washington, 2023.
14. Кариев А.Р., Бабаева В.С. Палеогеновые бентониты Таджикистана. – Душанбе, 1991-1994.
15. Крупская В.В. и др. Experimental study of montmorillonite structure // Minerals. – 2017. – V.7. – №49.
16. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород. – М.: Недра, 1989. – 211 с.
17. Хамидов А. ва бошқ. Минералогия ва петрография асослари. – Тошкент: Фан, 2019.

18. Derjaguin B.V., Landau L.D. Theory of the stability of strongly charged lyophobic sols // *Acta Physicochim. USSR.* – 1941. – Vol. 14. – P. 633-662.
19. Gregg S.J., Sing K.S.W. Adsorption, Surface Area and Porosity. – Academic Press, London, 1982. – 303 p.
20. Luckham P.F., Rossi S. The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions // *Advances in Colloid and Interface Science.* – 1999. – Vol. 82. – P. 43-92...
21. Van Olphen H. An Introduction to Clay Colloid Chemistry. – John Wiley & Sons, New York, 1977. – 318 p.
22. Verwey E.J.W., Overbeek J.Th.G. Theory of the Stability of Lyophobic Colloids. – Elsevier, Amsterdam, 1948.
23. Imanova S.R. va boshq. Magnit zarrachalar va bentonit asosidagi kompozitlarning dielektrik xususiyatlari // *Gəncə Dövlət Universiteti.* – 2018. – C. 141.
24. Komadel P. Chemically modified smectites // *Clay Minerals.* – 2003. – Vol. 38. – P. 127-138.
25. Komadel P. Acid activated GILLAR: Materials in continuous demand // *Applied Clay Science.* – 2016. – Vol. 131. – P. 84-99.
26. Krupskaya V.V. i dr. Experimental study of montmorillonite structure and transformation of its properties under treatment with inorganic acid solutions // *Minerals.* – 2017. – Vol. 7, №49. – P. 1-15.
27. Krupskaya V. i dr. The influence of acid modification on the structure of montmorillonites and surface properties of bentonites // *Applied Clay Science.* – 2019. – Vol. 172. – P. 1-10.
28. Madejova J., Bujdak J., Janek M., Komadel P. Comparative FTIR study of structural modifications during acid treatment of dioctahedral smectites and hectorite // *Spectrochimica Acta A.* – 1998. – Vol. 54. – P. 1397-1406.
29. Mirsaidov U.M., Roʻziev D.R., Emomov K.F. Bentonit gillariidan olingan aralash alyumina-temir koagulyantining koagulyatsion qobiliyatini oʻrganish // *Dok. AN PT.* – 2005. – T.48, №9-10. – P. 48-51.
30. Levenspiel O. Chemical Reaction Engineering. – 3rd ed. – John Wiley & Sons, 1999. – 668 p..
31. Zapolskiy A.K. Yuqori kremniyli alyuminiy xom ashyosini sulfat kislota bilan qayta ishlash. – Kiev: Nauk. Dumka, 1981. – 208 b.
32. Boldyrev V.V. Mechanochemistry and mechanical activation of solids // *Russian Chemical Reviews.* – 2006. – Vol. 75, №3. – P. 177-189.

33. Buntin A.Ye. Nurlat bentoniti asosidagi tabiiy alyumosilikatlarni modifikatsiyalash texnologiyasi. – Nomzodlik dissertatsiyasi, Qozon, 2021.
34. Suslick K.S. Sonochemistry // Science. – 1990. – Vol. 247, №4949. – P. 1439-1445.
35. Belousov P.Ye., Krupskaya V.V. Bentonitovыe gliny Rossii i stran zarubejya // Georesursy. – 2019. – T.21. – № 3. – S. 79-90.
36. Jenjurist I.A. Perspektivnyye napravleniya nanomodifitsirovaniya v stroitelnoy keramike // Stroitelnyye materialy. – 2014. – № 4. – S. 36-40.
37. Ogawa M., Kuroda K., Kato C. Preparation of montmorillonite-organic intercalation by solid-solid reactions // Chemistry Letters. – 1989. – P. 1959-1962.
38. Komadel P. Chemically modified smectites // Clay Minerals. – 2003. – Vol. 38. – P. 127-138.
39. Madejova J. FTIR techniques in clay mineral studies // Vibrational Spectroscopy. – 2003. – Vol. 31. – P. 1-10.
40. Yariv S., Cross H. Organo-Clay Complexes and Interactions. – Marcel Dekker, New York, 2002. – 688 p.
41. Rozengart M.I., Vyunova G.M., Isagulyants G.V. Qatlamli silikatlar katalizatorlar sifatida // Uspexi ximii. – 1988. – T.57, №2. – S.204-227.
42. Lahav N., Shani U., Shabtai J. Cross-linked smectites. I. Synthesis and properties of hydroxy-aluminium-montmorillonite // GILLAR and Clay Minerals. – 1978. – Vol.26, №2. – P.107-115.
43. Yamanaka S., Brindley G.W. High surface area solids obtained by reaction of montmorillonite with zirconyl chloride // GILLAR and Clay Minerals. – 1979. – Vol.27, №2. – P.119-124.
44. Yamanaka S., Nichihara T., Hattori M. Preparation and properties of titania pillared clay // Materials Chemistry and Physics. – 1987. – Vol.17, №1-2. – P.87-101.
45. Pinnavaia T.J. Intercalated clay catalysts // Science. – 1983. – Vol.220. – P.365-371.
46. Rightor E.G., Tzou M.S., Pinnavaia T.J. Iron oxide pillared clay with large gallery height // Journal of Catalysis. – 1991. – Vol.130. – P.29-40.
47. Baes C.F., Mesmer R.E. The Hydrolysis of Cations. – New York: Wiley, 1976. – 489 p.
48. Jolivet J.P. Metal Oxide Chemistry and Synthesis: From Solution to Solid State. – Wiley, 2000. – 321 p.

49. Spiro T.G., Allerton S.E., Renner J. The hydrolytic polymerization of iron(III) // *Journal of the American Chemical Society*. – 1966. – Vol.88, №12. – P.2721-2726.
50. Johansson G. On the crystal structure of some basic aluminium salts // *Acta Chemica Scandinavica*. – 1960. – Vol.14, №3. – P.771-773.
51. Panasyugin A.S., Ratko A.I., Masherova N.P. Fe-Al aralash gidroksokomplekslarining montmorillonitning g‘ovak tuzilishiga ta’siri // *Kolloidniy jurnal*. – 1999. – T.61, №5. – S.687-692.
52. Panasyugin A.S., Ratko A.I., Masherova N.P. Fe-Ni oligomer komplekslari bilan interkalyatsiyalangan montmorillonit // *Jurnal prikladnoy ximii*. – 1993. – T.66, №5. – S.1030-1034.
53. Panasyugin A.S., Ratko A.I., Masherova N.P. Fe^{3+} - Cr^{3+} geteroyadroli gidroksokomplekslari bilan interkalyatsiyalangan montmorillonit // *Jurnal neorganicheskoy ximii*. – 1998. – T.43, №9. – S.1437-1440.
54. Panasyugin A.S., Bondareva G.V. Temir va nodir yer metallarining gidroksokomplekslari bilan interkalyatsiyalangan montmorillonitning adsorbsion-tuzilmaviy xususiyatlari // *Kolloidniy jurnal*. – 2003. – T.65, №3. – S.520-523.
55. Komarov V.S., Panasyugin A.S., Ratko A.I. Temir-sirkoniy kompleksi bilan modifikatsiyalangan montmorillonitning tuzilishi va termik barqarorligi // *Vesti AN BSSR*. – 1992. – №2. – S.8-11.
56. Gil A., Gandia L.M., Vicente M.A. Recent advances in the synthesis and catalytic applications of pillared GILLAR // *Catalysis Reviews*. – 2000. – Vol.42, №1-2. – P.145-212.
57. Occelli M.L., Tindwa R.M. Physicochemical properties of montmorillonite interlayered with cationic oxyaluminum pillars // *GILLAR and Clay Minerals*. – 1983. – Vol.31, №1. – P.22-28.
58. Burch R., Warburton C.I. Pillared GILLAR as cracking catalysts // *Applied Catalysis*. – 1986. – Vol.26. – P.387-394.
59. Figueras F. Pillared GILLAR as catalysts // *Catalysis Reviews*. – 1988. – Vol.30, №3. – P.457-499.
60. Klopogge J.T. Synthesis of smectites and porous pillared clay catalysts: A review // *Journal of Porous Materials*. – 1998. – Vol.5. – P.5-41.
61. Ding Z., Klopogge J.T., Frost R.L. Porous GILLAR and pillared GILLAR-based catalysts. Part 2: A review of the catalytic applications // *Journal of Porous Materials*. – 2001. – Vol.8. – P.273-293.

62. Ray S.S., Okamoto M. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing // *Progress in Polymer Science*. – 2003. – Vol.28. – P.1539-1641.
63. Alexandre M., Dubois P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials // *Materials Science and Engineering: R: Reports*. – 2000. – Vol.28, №1. – P.1-63.
64. Vaia R.A., Ishii H., Giannelis E.P. Synthesis and properties of two-dimensional nanostructures by direct intercalation of polymer melts in layered silicates // *Chemistry of Materials*. – 1993. – Vol.5, №12. – P.1694-1696.
65. Giannelis E.P. Polymer layered silicate nanocomposites // *Advanced Materials*. – 1996. – Vol.8, №1. – P.29-35.
66. Pinnavaia T.J., Beall G.W. *Polymer-Clay Nanocomposites*. – John Wiley & Sons, 2000. – 370 p.
67. Sinha Ray S., Bousmina M. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world // *Progress in Materials Science*. – 2005. – Vol.50, №8. – P.962-1079.
68. Pavlidou S., Papaspyrides C.D. A review on polymer-layered silicate nanocomposites // *Progress in Polymer Science*. – 2008. – Vol.33, №12. – P.1119-1198.
69. Mittal V. Polymer Layered Silicate Nanocomposites: A Review // *Materials*. – 2009. – Vol.2, №3. – P.992-1057.
70. Gulrez S.H., Al-Assaf S., Phillips G.O. Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications // *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering*. – 2011. – P.117-150.
71. Khutoryanskaya O., Kenessoba Z., Mun G., Khutoryanskiy V. 2-Gidroksietil(met)akrilatlar asosida haroratga sezgir biouygun kopolimerlar va gidrogellarni loyihalash // *Biomacromolecules*. – 2008. – T.9, №12. – S.3353-3361.
72. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V. va boshq. Gidrofob oʻzaro taʼsirlarning oddiy vinil efirlari kopolimerlarining kompleks hosil qiluvchi xususiyatlariga taʼsiri // *Yuqori molekulyar birikmalar*. – 2001. – T.43, №10. – S.1867-1872.
73. Vargun E., Usanmaz A. Kimyoviy iniciator va ATRP usuli yordamida blok va eritmada 2-Gidroksietil akrilatning polimerizatsiyasi // *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. – 2005. – Vol.43, №17. – P.3957-3965.

74. Elgueta E., Rivas B.L., Mancisidor A. va boshq. 2-gidroksietil-metakrilat va 2-akrilamido-2-metil-1-propansulfon kislotasidan olingan gidrogellar, chiqindi suvlardan metall kationlarini olib tashlash qobiliyatiga ega // Polymer Bulletin. – 2019. – Vol.76. – P.6503-6528.

75. Dragan E.S., Perju M.M., Dinu M.V. Poliakrilamid va xitozan asosida IPN kompozit gidrogellarni tayyorlash va xarakteristikasi va ularning ionli bo‘yoqlar bilan o‘zaro ta’siri // Carbohydrate Polymers. – 2012. – Vol.88. – P.270-281.

76. Mittal H., Mishra S.B., Mishra A.K. va boshq. Ghatti qayishi-g-poli(akril kislota) ning biosorbsiya potentsiali va B. subtilis tomonidan biodegradatsiyalanuvchanligi // International Journal of Biological Macromolecules. – 2013. – Vol.62. – P.370-378.

MUNDARIJA

KIRISH.....	2
BENTONIT GILLARINING GEOKIMYOVIY	
XUSUSIYATLARI VA DUNYO MIQYOSIDAGI	
ZAHIRALARI.....	5-23
Bentonitning kelib chiqishi va geologik turlari.....	5
Mineralogik tarkibi.....	7
Kimyoviy tarkibi.....	11
Kristallokimyoviy formula va zaryad xususiyatlari	14
Dunyo bo'yicha bentonit zahiralari va qazib olish dinamikasi	19
MDH davlatlaridagi bentonit zahiralari	21
Jahonda bentonit ishlab chiqarish va iste'moli tarkibi	24
BENTONIT GILLARINING FIZIK-KIMYOVIY	
XOSSALARI.....	29
Bentonitlarning gidrofilligi va gidratatsiyasi.....	29
Ion almashinish xususiyatlari.....	34
Adsorbsion xususiyatlar.....	37
Termik xususiyatlar	45
Elektr va magnit xususiyatlari.....	48
BENTONITLARNI KISLOTALI AKTIVATSIYALASH.....	51
Kislotali aktivatsiyaning maqsad va vazifalari.....	51
Kislotali parchalanish kinetikasi.....	53
Turli konlardagi bentonitlarning kislotali parchalanishi.....	59
Kislotali aktivatsiya mahsulotlarining amaliy qo'llanilishi.....	67
Kislotali aktivatsiya texnologiyasining asosiy sxemasi.....	68
BENTONITLARNI ISHQORIY, TERMİK VA FIZİK	
AKTIVATSIYALASH.....	71
Ishqoriy aktivatsiya (soda bilan faollashtirish).....	71
Ultratovush bilan ishlov berish.....	81
Mikroto'lqinli ishlov berish.....	86
Kombinatsiyalashgan aktivatsiya usullari.....	87
Aktivatsiya usullarini tanlash mezonlari.....	88
ORGANİK MODIFIKATSIYALASH VA ORGANOGILLAR..	90
Organogillarning umumiy tavsifi.....	90
Organogillarni olish usullari.....	92
Organogillarning tuzilishi va xossalari.....	94
Organogillarning qo'llanilishi.....	99
Organik modifikatsiyaning bentonit xossalari ta'siri.....	103
Organogillarning iqtisodiy samaradorligi.....	104

PILLARED GILLAR – USTUNLI GILLAR.	106
Pillared gillar tushunchasi va ularning ahamiyati.....	106
Pillared gillar olish texnologiyasi.....	110
Geteroyadroli pillared gillar.....	117
Pillared gillarning fizik-kimyoviy xossalari.....	121
Pillared gillarning boshqa qo‘llanilishi.....	124
Pillared gillarning sanoatda qo‘llanilishi istiqbollari.....	125
BENTONIT-POLIMER NANOKOMPOZITLAR VA	
GIDROGELLAR.....	127
Bentonit-polimer nanokompozitlar: umumiy tushunchalar.....	127
Bentonit asosidagi gidrogellar.....	130
Gidrogellarning amaliy qo‘llanilishi.....	140
Boshqa polimerlar bilan nanokompozitlar.....	142
XULOSA.....	145
FOYDALANGAN ADABIYOTLAR.....	149

MONOGRAFIYA MUALLIFLARI:

Ismatov Sunnatullo Shamsuloevich – Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti "Umumiy kimyo va kimyoviy texnologiyalar" kafedrası mudiri, professor, t.f.d (DSc). Bentonitning sanoatda qo‘llanilishi bo‘yicha tadqiqotlar rahbari.

Donayev Husniddin Tursunmuratovich – Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti “Umumiy kimyo va kimyoviy texnologiyalar” kafedrası talabasi. Bentonitlarning kislotali aktivatsiyasi va kinetikasi bo‘yicha tadqiqotlar muallifi.

Monografiya O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi, Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti Ilmiy kengashi tavsiyasi bilan nashr etildi.

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
DENOV TADBIRKORLIK VA PEDAGOGIKA INSTITUTI

ISMATOV SUNNATULLO SHAMSULLOYEVICH
DONAYEV HUSNIDDIN TURSUNMURATOVICH

BENTONIT GILLARNING TUZILISHI,
AKTIVATSIYASI VA ZAMONAVIY NANOKOMPOZIT
TIZIMLARDA QO‘LLANISHI

MONOGRAFIYA

Muharrir: dots. D.Shukurov
Texnik muharrir: Abduraxmonov S.T.

Tasdiqnoma № 1384706. 17.02.2026
Terishga 29.07.2026-yilda berildi.
Bosishga 29.07.2026-yilda ruxsat etildi.
Format 60x84/. Hajmi 10 bosma taboq.
Buyurtma № 00. Times New Roman.
100 nusxada. 160 bet.
“LOCHIN TA’LIM” nashriyotida tayyorlandi va
“TERMIZ PUBLISHING CENTER” chop etildi



9259



Surxondaryo viloyati, Qumqo‘rg‘on tumani, Obod ko‘chasi 65-uy,
TIF "O‘ZMILLIYBANK" BANKINING BOSH OFISI, MFO: 00450,
INN: 312783697 H/R: 20208000207405563001
Telefon: +998-90-644-48-75