DOI: 10.65322/j.srd.05192026.06

SKANERLOVCHI ELEKTRON MIKROSKOPIYA (SEM-EDS) YORDAMIDA MMV-2 GIBRID OLEOGEL-SORBENTINING MIKROSTRUKTURA VA ELEMENTAR TARKIBINI O‘RGANISH

Shukurov Jurabek Lolayevich, *tayanch doktorant,*
Ekologiya va atrof muhit muhofazasi kafedrasi,
E-mail: jshukurov7777@gmail.com,
Yunusov Obidjon Qodirovich, *t.f.n., professor,*
Ekologiya va atrof muhit muhofazasi kafedrasi,
E-mail: yunusoff.obidjon@yandex.ru,
Toshkent davlat texnika universiteti
Bo‘riyeva Sanobar, *talaba,*
Ekologiya va atrof- muhit muhofazasi yo‘nalishi,
E-mail: sanobars839@gmail.com,
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti

Annotatsiya. *Sintez qilingan MMV-2 markali polimer-mineral gibrid oleogel-sorbentining sirt topografiyasi va zarrachalararo g‘ovaklik strukturasi skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM-EDS) usuli yordamida, mos ravishda 5, 10, 50 va 200 µm o‘lchamli masshtab diapazonlarida o‘rganildi. Elementar tahlil jarayonida gibrid namuna sirti yuqori energiyali elektronlar oqimi bilan nurlantirilib, tarkibiy elementlarning xarakterli rentgen nurlanish dispersiyalari qayd etildi.*

Аннотация. *Поверхностная топография и структура межчастичной пористости синтезированного полимер-минерального гибридного олеогель-сорбента марки MMV-2 были изучены методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ-ЭДС) в диапазонах масштаба 5, 10, 50 и 200 мкм соответственно. В ходе элементного анализа поверхность гибридного образца облучалась потоком высокоэнергетических электронов, при этом регистрировались характеристические дисперсии рентгеновского излучения составляющих элементов.*

Abstract. *The surface topography and interparticle porosity structure of the synthesized polymer-mineral hybrid oleogel-sorbent labeled MMV-2 were studied by scanning electron microscopy (SEM-EDS) at scale ranges of 5, 10, 50, and 200 µm, respectively. During elemental analysis, the surface of the hybrid sample was irradiated with a high-energy electron beam, and the characteristic X-ray emission dispersions of the constituent elements were recorded.*

Kalit so‘zlar: *Zarrachalararo g‘ovaklik, skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM), miqdoriy tahlil, kroton aldegidi, sirt morfologiyasi, amin guruhlari.*

Ключевые слова: *межчастичная пористость, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), количественный анализ, кротоновый альдегид, морфология поверхности, аминогруппы.*

Keywords: *Interparticle porosity, scanning electron microscopy (SEM), quantitative analysis, crotonaldehyde, surface morphology, amine groups.*

Kirish. Global sanoat miqyosida neft va neft mahsulotlariga bo‘lgan talabning ortishi, ularni qazib olish, transportirovka qilish hamda saqlash jarayonlarida gidrosfera yuzasiga favqulodda to‘kilish xavfini keskin oshirmoqda [1]. Tabiiy suv havzalarining neft uglevodorodlari va oqova suvlardagi moysimon chiqindilar bilan ifloslanishi ekotizimlarga halokatli ta’sir ko‘rsatishi sababli, ushbu fazalarni selektiv absorbsiya jarayoni orqali bartaraf etish zamonaviy amaliy kimyoning dolzarb vazifalaridan biri hisoblanadi. Gibrid oleogel-sorbentlarning ishlash mexanizmi nopolyar moysimon moddalarni kapillyar kuchlar va gellashtiruvchi struktura hisobiga

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.06

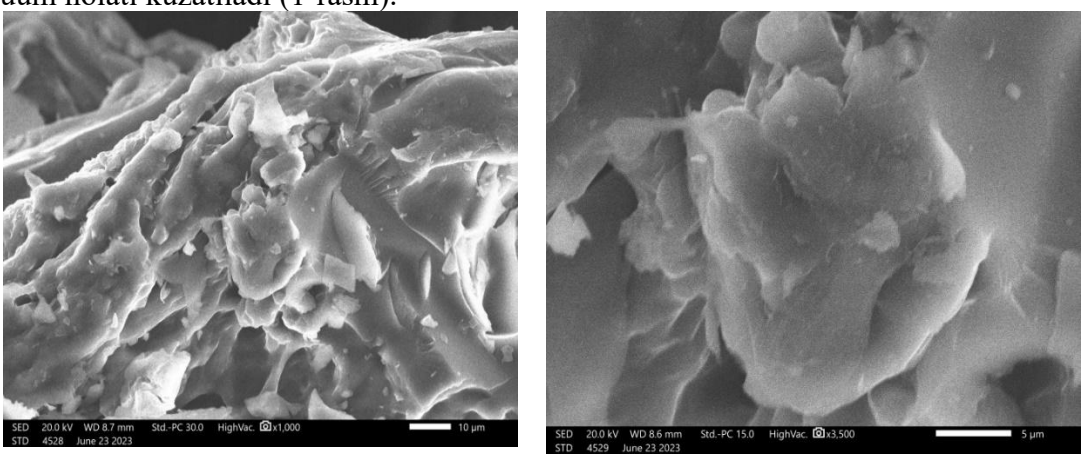
suv muhitidan tanlab shimib, yarim qattiq yoki elastik gel holatiga o‘tkazishga (oleogellanishga) asoslangan [2].

An’anaviy sintetik polimer sorbentlarning ishlab chiqarish tannarxi yuqoriligi va utilizatsiya jarayonlarining murakkabligi sababli, sanoat korxonalari chiqindilari va mahalliy minerallar kombinatsiyasiga asoslangan geterogen tizimlarni shakllantirish yuqori iqtisodiy va ekologik samara beradi [1]. Shu nuqtai nazardan, o‘ziga xos qatlamli-g‘ovakli strukturaga ega bo‘lgan mahalliy Tebinbuloq koni vermikulit minerali gibrid oleogel-sorbentlar uchun barqaror noorganik matritsa asosi hisoblanadi [3, 4]. Mineralning tabiiy gidrofil tabiatini o‘zgartirish va sirt energiyasini pasaytirish maqsadida, uning qatlamlararo mezog‘ovaklarini "Navoiyazot" AJ kroton fraksiyasidan ajratib olingan kroton aldegidi va polietilenpoliamin (PEPA) negizida olingan amfifil tabiatli MMV-2 oligomer smolasi yordamida in-situ interkalatsiyalash uslubiyoti qo‘llanildi [5, 6, 7].

Polikondensatlanish jarayonida hosil bo‘lgan azometin (-C=N-) yoki Shiff asosi funksional guruhlari hamda poliamin fragmentlari vermikulit strukturasining faol silanol (Si-OH) markazlari bilan kuchli molekulalararo vodorod va barqaror koordinatsion bog‘lanishlar shakllantiradi [8]. Reaksion muhitda o‘zaro to‘rsimon choklanish (kross-linking) va 1.5–2.5 % stearin kislotasi bilan modifikatsiyalash bosqichlarining muvozanatlanishi, chiziqli oligomer zanjirlarining uglevodorodlar ta’sirida erib ketishini oldini oladi va materialning reologik barqarorligini hamda yuqori elastikligini ta’minlaydi [9].

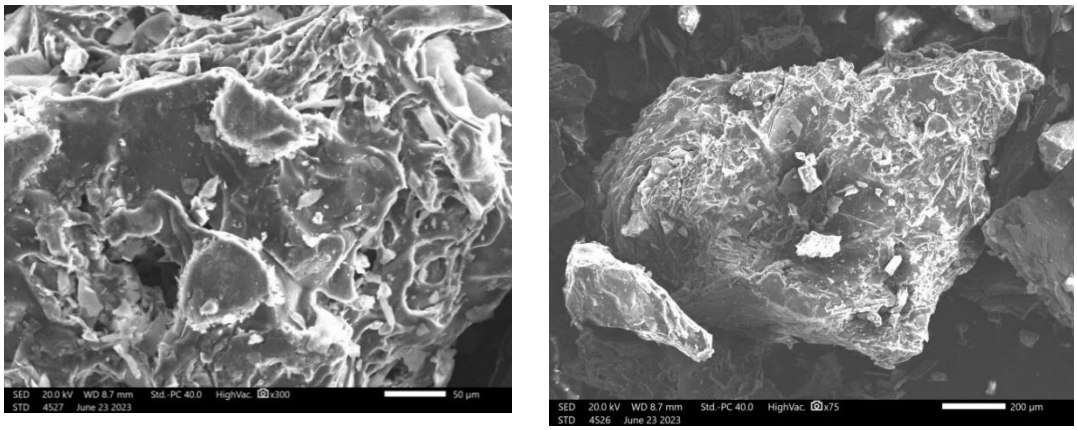
Sintez qilingan MMV-2 markali gibrid oleogel-sorbentning individual organik erituvchilar va yoqilg‘i fraksiyalari muhitidagi muvozanatli sorbsion ko‘rsatkichlari gravimetrik usulda baholandi. Eksperimental natijalarga ko‘ra, olingan gibrid mahsulotlar nopolyar aromatik uglevodorodlar va sanoat oqova suvlari tarkibidagi moysimon birikmalarga nisbatan yuqori sorbsion afzallik namoyon etib, muvozanatli bo‘kish bosqichida toluol fazasini 19.1–23.4 g/g gacha, ksilolni 14.5–16.8 g/g gacha va benzinni 9.2–11.5 g/g gacha bo‘lgan yuqori ko‘rsatkichlarda selektiv yutishi aniqlandi.

Metodologiya. Sintez qilingan MMV-2 markali polimer-mineral gibrid oleogel-sorbentning sirt morfologiyasi skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) usuli yordamida 5, 10, 50 va 200 μm masshtab diapazonlarida o‘rganildi. 5 μm masshtabdagi yuqori kattalashtirilgan tasvirlarda amfifil xususiyatga ega MMV-2 oligomer strukturaining mikrogomogen va fazaviy kontinuum holati kuzatiladi (1-rasm).



A b

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.06



C d

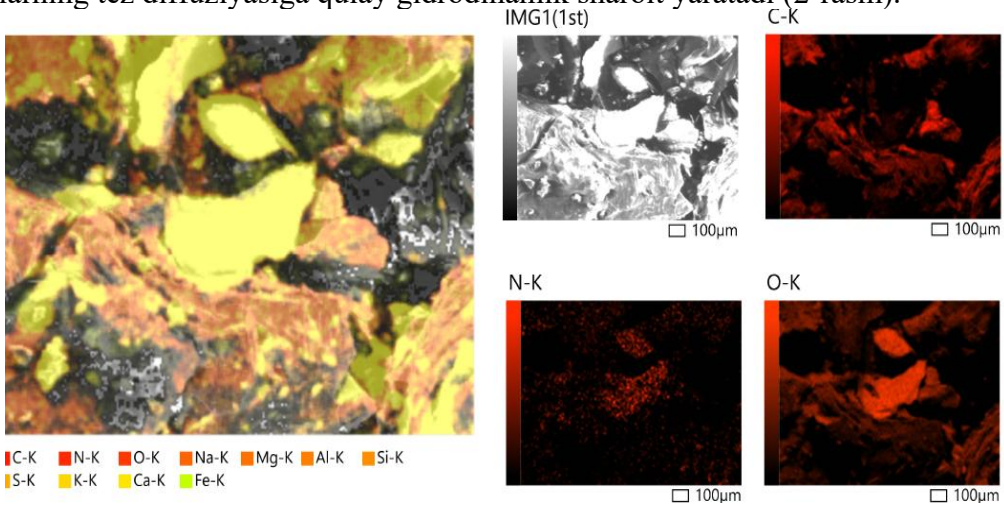
a) 5 µm; b) 10 µm; v) 50 µm va g) 200 µm.

1-rasm. MMV-2 markali gibrid oleogel-sorbent sirtining turli kattalikdagi mikrosuratlari

Ushbu lokal hududda polimer zanjirlarining zich o‘zaro choklanishi natijasida silliq, barqaror gidrofob plyonka relyefi shakllangan bo‘lib, sirt tuzilmasida yot mexanik aralashmalar hamda mikro-yoriqlar aniqlanmadi.

10 µm masshtabdagi mikrosuratlarda faollashtirilgan vermikulit mineralining qatlamli paketlari va g‘ovakli bo‘rtmali relyefi yaqqol namoyon bo‘ladi. Tahlillar mineral poydevorning qatlamlararo mikro- va mezog‘ovak tuzilmalari buzilmagan, bir jinsli saqlanganligini ko‘rsatdi. Ushbu yuzalar azometin va poliamin guruhlarini o‘z ichiga olgan oligomer qatlami bilan barqaror qoplangan bo‘lib, fazalararo mustahkam adgeziya hosil qilgan.

50 µm va 200 µm masshtabli mikrosuratlarda esa gibrid tizimning umumiy dispers holati hamda zarrachalararo rivojlangan ochiq g‘ovakli struktura aniq kuzatiladi. Shakllangan makrog‘ovakli kanallar tizimi material ichida yuqori darajadagi kapillyar o‘tkazuvchanlikni ta’minlab, sanoat oqova suvlari tarkibidagi geterogen moysimon moddalarning va emulsiyalangan uglevodorodlarning tez diffuziyasiga qulay gidrodinamik sharoit yaratadi (2-rasm).



a) b)

a) umumiy integral ko‘rinishi; b) uglerod (C), azot (N) va kislorod (O) elementlari bo‘yicha taqsimoti

2-rasm. MMV-2 markali gibrid oleogel-sorbent tarkibidagi elementlarning 100 µm masshtabdagi rangli diffuzion xaritalari:

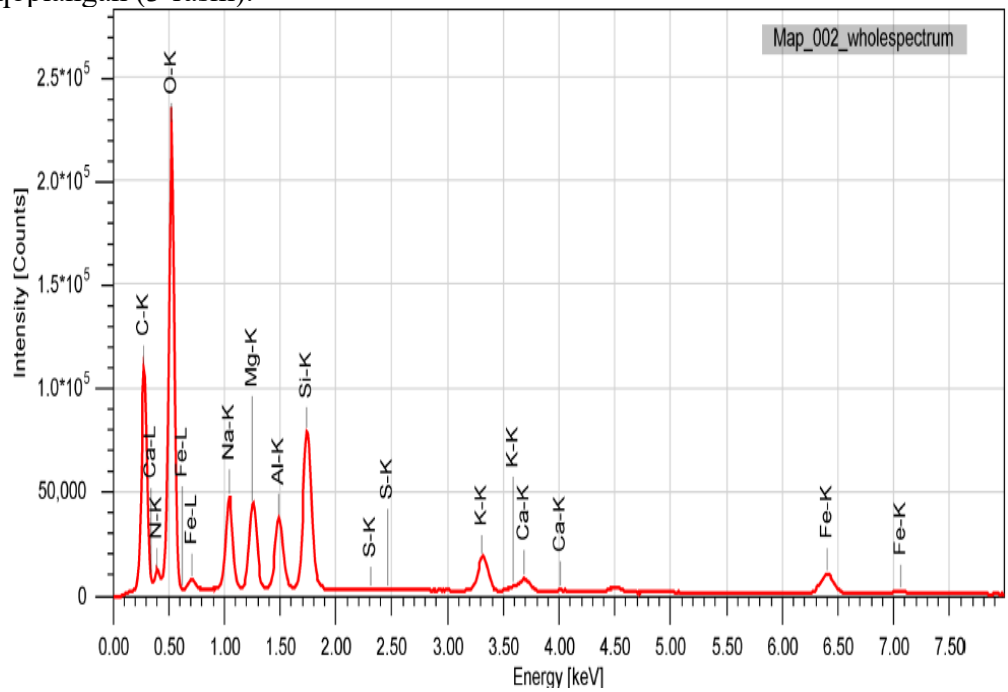
DOI: 10.65322/j.srd.05192026.06

Natijalar va muhokama. Sintez qilingan MMV-2 markali gibrid oleogel-sorbent tarkibidagi elementlarning faza yuzasi bo‘ylab mikromiqdoriy taqsimlanish topografiyasi va geterogen gomogenlik darajasi skanerlovchi elektron mikroskopiyaga biriktirilgan EDS spektrometrida elementar xaritalash (mapping) usuli yordamida 100 μm masshtab rejimida tadqiq etildi.

Kompozit yuzasining umumiy xaritaviy tasviri va uning individual elementar komponentlari (C-K, N-K, O-K) tahlili quyidagi fundamental qonuniyatlarni tasdiqlaydi:

-uglerod (C-K) va Azot (N-K) elementlarining sirt bo‘ylab lokal zichlik xaritalari o‘rganilganda, ushbu organogen atomlarning butun skanerlash maydoni bo‘ylab kontinuum holatida relyefli va bir jinsli taqsimlanganligi aniqlandi. Tabiiy alyumosilikatlar (vermikulit) kristall panjarasida azot atomlarining mavjud emasligini hisobga olganda, N-K xaritasida faol azometin (-C=N-) va poliamin fragmentlarini ifodalovchi signal zichligining mineral strukturasining barcha mikro- va mezog‘ovaklari sirtida bir tekisda qayd etilishi, MMV-2 oligomer zanjirlarining mineral paketlari orasiga in-situ usulida chuqur interkalatsiyalanganligini va sirtqi silanol markazlari bilan barqaror koordinatsion-kimyoviy aloqa hosil qilganligini vizual jihatdan to‘liq isbotlaydi.

-kislorod (O-K) xaritasida qayd etilgan rezonans signallari vermikulit mineralining silikat poydevoriga (SiO_4 tetraedrlariga) hamda oligomer tarkibidagi qutbli va sterik ochiq funksional markazlarga muvofiq keladi. Umumiy integrallashgan rangli EDS xaritasida struktura yadrosini tashkil etuvchi kremniy (Si-K), alyuminiy (Al-K), magniy (Mg-K), temir (Fe-K), kaliy (K-K) va kalsiy (Ca-K) elementlarining xarakterli koordinatsiyalari polimer faza signallari bilan o‘zaro to‘liq qoplangan (3-rasm).



3-rasm. Sintez qilingan gibrid oleogel-sorbentning elementar tarkibi SEM–EDS usulida miqdoriy tahlil qilindi

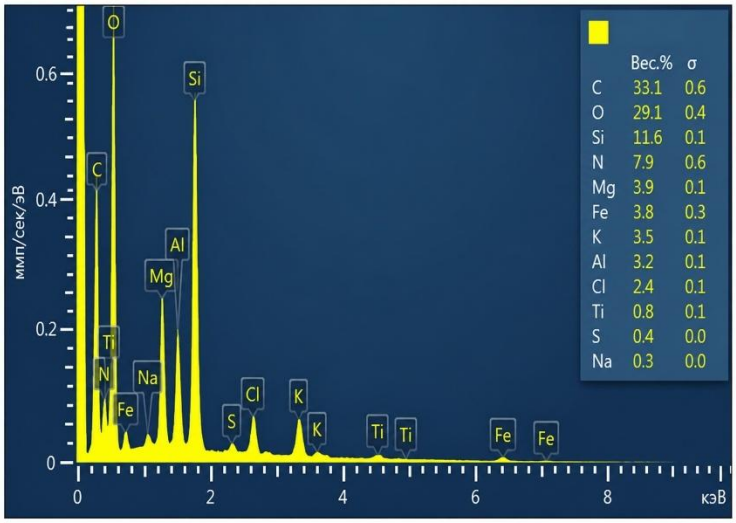
Spektr tahliliga ko‘ra, eng yuqori signal E =0.52, keV sohada aniqlanib, u kislorod (O-K) elementiga tegishli bo‘lib, 46.02±0.04 % massani tashkil etadi. Kislorodning yuqoriligi vermikulitning alyumosilikat tuzulishi hamda MMV-2 oligomeridagi kislorod saqlovchi funksional guruhlar bilan izohlanadi.

E=0.27, keV sohada uglerod (C-K) cho‘qqisi qayd etilib, uning miqdori 32.16±0.02 % ni, shuningdek, dastlabki vermikulitda mavjud bo‘lmagan azot (N-K) 2.37±0.02 % miqdorda

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.06

aniqlanib, MMV-2 gibrid oleogel-sorbentining va amin guruhlari hisobiga tizimga kirganligini ko‘rsatadi. Noorganik komponentlar sifatida Si (4.68±0.01 %), Mg (3.03±0.01 %), Fe (2.62±0.01 %) va Al (2.20±0.01 %) elementlari qayd etildi. Olingan natijalar organik va mineral fazalarning barqaror gomogen tizimga birlashganini hamda oleogel-sorbentning shakllanganligini tasdiqlaydi.

Elementlarning faza sathidagi bunday muvozanatli va yuqori dispersli integral topografiyasi, olingan MMV-2 gibrid oleogel-sorbentining sirtida supergidrofob-superoleofillik balansning barqaror shakllanganligini ko‘rsatadi. Bu esa ishlab chiqilgan materialning sanoat oqova suvlari tarkibidagi geterogen moysimon moddalar va emulsiyalangan uglevodorod chiqindilarini suv muhitidan yuqori selektivlik bilan tanlab filtrlash va hajmda immobilizatsiyalash samaradorligini fundamental darajada asoslaydi (4-rasm).



4-rasm. MMV-2 markali gibrid oleogel-sorbenti uchun element tahlil

Xulosa. MMV-2 namunasi sirtining lokal sohasi tahlil qilinganda, kroton aldegidi va polietilenpoliamin (PEPA) polikondensatlanish mahsulotlariga xos bo‘lgan elementlar koordinatsiyasi qayd etildi. Bu tizimda uglerod (C) miqdori 33.1 mass% gacha ortishi polimer zanjirlarining yuqori zichlikda choklanganligidan (kross-linking) dalolat beradi. Tarkibdagi faol azometin (-C=N-) yoki Shiff asosi bog‘lari hamda ikkilamchi terminal amin guruhlari hisobiga azot (N) elementi ulushi 7.9 mass% ni tashkil etdi.

Olingan SEM natijalari PEPA va kroton aldegidining polikondensatlanish mahsulotlari vermikulit mineralining bazal yuzalarida yuqori fazalararo adgeziya bilan immobilizatsiyalanganligini tasdiqlaydi. Natijada oqova suvlarni uglevodorodli ifloslantiruvchilardan selektiv tozalashga mo‘ljallangan barqaror kapillyar-g‘ovakli oleogel matritsasi shakllanganligi aniqlandi.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Bandura L., Woszuk A., Kołodyńska D., Franus W. Application of Mineral Sorbents for Removal of Petroleum Substances: A Review // Minerals. - 2017. -Vol. 7, № 3. Art. 37.

2. Prathap A., Sureshan K.M. Organogelator-Cellulose Composite for Practical and Eco-Friendly Marine Oil-Spill Recovery // Angewandte Chemie International Edition. – 2017. – Vol. 56, № 32. – P. 9405–9409.

3. Umirov F.E., Sabirov B.T., Ravshanova O.A., Aripov A.R. Material composition and beneficiation potential of vermiculite from the Tebinbulak deposit // Obogashchenie Rud. – 2025. – № 4. – P. 27–33. – DOI: 10.17580/or.2025.04.05.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.06

4. Sabirov B., Tursunov B., Djavlonova Sh., Islomova N. Study of physical properties of expanded vermiculite for the production of vermiculite thermal insulation boards // Universum: технические науки. –2026. –№ 5(146). –DOI: 10.32743/ Uni Tech. 2026. 146.5.22629.

5. Hajizadeh F., Norouzbeigi R., Velayi E. Organoclays from acid-base activated vermiculites for oil-water mixture separations // Applied Clay Science. – 2024. – Vol. 262. – Art. 107600.

6. Nguyen D.C., Bui T.T., Cho Y.B., Kim Y.S. Highly Hydrophobic Polydimethylsiloxane-Coated Expanded Vermiculite Sorbents for Selective Oil Removal from Water // Nanomaterials. – 2021. – Vol. 11, № 2. – Art. 367.

7. Huang K., Rowe P., Chi C., Sreepal V., Bohn T., Zhou K.-G., Su Y., Prestat E., Balakrishna Pillai P., Cherian C.T., Michaelides A., Nair R.R. Cation-controlled wetting properties of vermiculite membranes and its promise for fouling resistant oil–water separation // Nature Communications. – 2020. – Vol. 11. – P. 1–10.

8. Kaya İ., Yağmur H.K., Çakmak R. Synthesis and characterization of porous oligo(azomethine) from hydrazide-based needle-like crystal structure Schiff base: evaluation of adsorption performance // Journal of Molecular Structure. – 2026. – Vol. 1375. – Art. 146952.

9. Nandi M., Banerjee S., De P. Stearoyl-appended pendant amino acid-based hyperbranched polymers for selective gelation of oil from oil/water mixtures // Polymer Chemistry. – 2019. – Vol. 10, № 14. – P. 1795–1805.