

**UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.02.30.12.2019.K/T.35.01  
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI**

**KARIMOVA GULIRANO MUXTOR QIZI**

**AKRILAMID VA MALEIN KISLOTASI SOPOLIMERLARI ASOSIDA  
TUPROQ STRUKTURANTLARINI OLISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB  
CHIQISH**

**02.00.11 – Kolloid va membrana kimyosi**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI  
AVTOREFERATI**

**Toshkent-2025**

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**

**Contents of the dissertation abstract of doctor of filosofy (PhD)**

**Karimova Gulirano Muxtor qizi**

Akrilamid va malein kislotasi sopolimerlari asosida tuproq strukturantlarini olish texnologiyasini ishlab chiqish..... 3

**Каримова Гулирано Мухтор кизи**

Разработка технологии получения структурантов почв на основе сополимеров акриламида и малеиновой кислоты..... 21

**Karimova Gulirano Muxtor qizi**

The development of a technology for producing soil structuring agents based on copolymers of acrylamide and maleic acid..... 39

**E'lon qilingan ilmiy ishlar ro'yxati**

Список опубликованных работ

List of published works..... 43

**UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.02.30.12.2019.K/T.35.01  
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI**

**KARIMOVA GULIRANO MUXTOR QIZI**

**AKRILAMID VA MALEIN KISLOTASI SOPOLIMERLARI ASOSIDA  
TUPROQ STRUKTURANTLARINI OLISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB  
CHIQISH**

**02.00.11 – Kolloid va membrana kimyosi**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI  
AVTOREFERATI**

**Toshkent-2025**

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar Vazirligi huzuridagi Oliy Attestatsiya Komissiyasida B2025.3.PhD/T5822 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Umumiy va noorganik kimyo institutida bajarilgan,  
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.ionx.uz) va «Ziyonet» axborot-ta'lim portalida (www.zionet.uz) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Kuldasheva Shahnoza Abdulazizovna**  
kimyo fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Yakubov Yo'ldosh Yusupboyevich**  
kimyo fanlari doktori, professor

**Sharipova Ayshagul Ibraimovna**  
kimyo fanlari nomzodi, dotsent

**Yetakchi tashkilot:**

**Toshkent kimyo texnologiya instituti**

Dissertatsiya ximoyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti huzuridagi ilmiy darajalar DSc.02.03.12.2019.K/T.35.01 raqamli Ilmiy kengashning «9» yanvar 2026 yil soat 10:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 100170, Toshkent shahri, Mirzo Ulug'bek ko'chasi, 77-a. Tel.: (+99871) 262-56-60; faks: (+99871) 262-79-90, e-mail: ionxanruz@mail.ru.

Dissertatsiya bilan Umumiy va noorganik kimyo institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (26-raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100170, Toshkent shahri, Mirzo Ulug'bek ko'chasi, 77-a. Tel.: (99871) 262-56-60); faks: (+99871) 262-79-90).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil « 25 » dekabr kuni tarqatildi.  
(2025 yil « 25 » dekabr № 26 -reyestr bayonnomasi)



**B.S.Zakirov**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash raisi, k.f.d., prof.

**D.S.Salixanova**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash kotibi, t.f.d., prof.

**I.D.Eshmetov**

Ilmiy daraja beruvchi ilmiy kengash qoshidagi  
ilmiy seminar raisi, t.f.d., prof.

## **KIRISH (falsafa doktori (PhD)dissertatsiyasi annotatsiyasi )**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati.** Dunyo miqyosida tuproqning maydalanish darajasining ortishi, mayda fraksiyalar shakllanishi va eroziya natijasida suvga chidamli agregatlar miqdorining kamayishi hamda suvni ushlab turish xususiyatining pasayishi kuzatilmoqda. Poliakrilamidlar, poliakrilatlar va boshqa suvda eruvchan polimerlar kabi an'anaviy koagulyant–struktura hosil qiluvchilar ko'p hollarda kolloid to'rlarga yetarli darajada yuqori mustahkamlik bera olmaydi, bu esa ularning zamonaviy agrotexnologiyalarda keng qo'llanilishini chegaralab qo'yimoqda. Shu munosabat bilan, gidroliz va molekulyar og'irlikning maqbul darajasi, tuproqning suv ta'minoti agregatlarini shakllantirishda yuqori samaradorlikka ega bo'lgan akrilamidning yangi tuzilmaviy hosil qiluvchi sopolimerlarini ishlab chiqish bo'yicha tadqiqotlar tobora ko'proq ahamiyat kasb etmoqda.

Jahonda bugungi kunda tuproqning suvga chidamli agregatlarini oshirish maqsadida akrilamidning istiqbolli struktura hosil qiluvchi sopolimerlarini ishlab chiqarish va qo'llash texnologiyasini yaratishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar faol olib borilmoqda. Bu borada yo'qari molekulyar massa va dissotsiatsiya darajasiga ega bo'lgan sintez usullarini ishlab chiqish, eritmalarining qovushqoqlik xususiyatlarining ularni olish sharoitlariga bog'liqligini aniqlash, molekulyar-massa taqsimotini tahlil qilish, suspenziyalarida struktura hosil qiluvchi faollikni o'rganish, shuningdek, polimerlarni sanoat ishlab chiqarish va qo'llash sharoitlarini optimallashtirishda ilmiy yechimlarni asoslashga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda mahalliy xomashyo asosida yangi materiallar, jumladan, struktura hosil qiluvchi materiallarni olish bo'yicha ilmiy va amaliy natijalarga erishilmoqda. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirishga qaratilgan "Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi"ning uchinchi yo'nalishida "milliy iqtisodiyot barqarorligini ta'minlash va sanoatning yalpi ichki mahsulotdagi ulushini oshirish, sanoat mahsulotlari ishlab chiqarish hajmini 1,4 baravarga ko'paytirish"<sup>1</sup> kabi vazifalar belgilangan. Shu munosabat bilan, akrilamid va malein kislotasining sopolimerlarini olish texnologiyasini ishlab chiqish, shuningdek ularning xususiyatlari bilan sintez sharoitlari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni aniqlashga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar muhim ahamiyat kasb etmoqda.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022–2026 yillarda Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida"gi, 2017 yil 7 fevraldagi PF-4947-son "2017–2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi Farmonlarida, 2017 yil 23 avgustdagi PQ-3236-son "2017–2021 yillarda kimyo sanoatini jadallik bilan rivojlantirish dasturi to'g'risida"gi, 2018 yil 25 oktabrdagi PQ-3983-son "O'zbekiston Respublikasida kimyo sanoatini jadallik bilan rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Qarorlarida, shuningdek mazkur

---

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28-yanvardagi PF-60-son "2022–2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni

faoliyatga taalluqli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga mazkur dissertatsiya ishi ma'lum darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotlarning Respublika fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII "Kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar" ustuvor yo'nalishiga muvofiq bajarilgan.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** Dunyo miqyosida akrilamid sopolimerlarining struktura va reologik xossalarini yaxshilashga bag'ishlangan ilmiy tadqiqotlar olib borilgan bo'lib, bu yo'nalishda N.A. Platé, A.D. Litmanovich, Ya.V. Kudryavtsev, shuningdek, A. Laschewsky, E.D. Rekaÿ va E. Wischerhofflarning ilmiy ishlari alohida o'rin tutadi.

O'zbekistonda K.S. Ahmedov tomonidan yuqori samarali struktura hosil qiluvchi polimer materiallar va sirt faol moddalarni yaratishga qaratilgan ilmiy maktab shakllantirilgan bo'lib, ushbu maktab rivojiga S.S. Xamrayev, A.A. Agzamhodjayev, G.R. Narmetova, S.Z. Muminov, U.K. Ahmedov, S.A. Abdurahimov, R.R. Maxkamov, X.I. Akbarov, I.D. Eshmetov, Sh.A. Quldasheva va boshqa olimlar salmoqli hissa qo'shganlar.

Mazkur tadqiqot akrilamid va malein kislotasining gidrolizlangan sopolimerlarini sintez qilishda monomerlarning mol nisbati, polimerizatsiya harorati va vaqtini o'zgartirish orqali o'tkazilgan bo'lib, ularning tuproqning qovushqoqlik hamda struktura hosil qiluvchi xususiyatlarini boshqarishda qo'llanishi o'rganilgan. Ish jarayonida polimerlarning molekulyar-massa taqsimoti, kolloid-kimyoviy ko'rsatkichlari va eritmalarining reologik xatti-harakati tahlil qilingan. Shunga qaramay, tuproq uchun struktura hosil qiluvchilarni olish texnologiyasini yaratish masalalari hozirgi kungacha yetarli darajada hal etilmagan holda qolmoqda.

**Tadqiqotning dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot rejalari bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Umumiy va noorganik kimyo institutining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari doirasida «Neft, neft-gaz qazib chiqarish sanoati oqova suvlari uchun adsorbentlar va reagentlar olish texnologiyasini ishlab chiqish, shuningdek, harakatchan tuproq-qum dispersiyalarida mustahkam tuzilma hosil qiluvchi reagentlar tarkibini yaratish» mavzusidagi davlat dasturi asosida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** akrilamid va malein kislotasi sopolimerlari asosida tuproq uchun struktura hosil qiluvchilarni olish texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

#### **Tadqiqotning vazifalari:**

akrilamid va malein kislotasining radikal sopolimerizatsiyasi usullarini ishlab chiqish va maqbullashtirish, bunda mollar nisbati, harorat va reaksiyaning davomiyligini boshqarish orqali belgilangan molekulyar-massa ko'rsatkichlari va dissotsiatsiya darajasiga ega sopolimerlarni olish;

sintez sharoitlarining (AA:MK, T, t) sopolimerlarning suvli eritmalarining qovushqoqlik xususiyatlariga ta'sirini o'rganish;

ishlab chiqilgan sopolimerlarning molekulyar-massa taqsimoti, sopolimer birlashmalarining morfologiyasi va polimer zanjirlarining konfiguratsiyasini

viskozimetriya, IQ-spektroskopiya va mikroskopik tahlil usullari yordamida baholash;

yuqori unum (>95 %) va erituvchini samarali qayta tiklash ( $\geq 90$  %) bilan sopolimer sintezi va ajratib olishning laboratoriya va yarim sanoat texnologiyasini ishlab chiqish va joriy etish;

yarim sanoat sharoitida sopolimer ishlab chiqarishning moddiy balansi va ishlab chiqarish tannarxining iqtisodiy hisob-kitobini amalga oshirish.

**Tadqiqotning obyektlari** sifatida akrilamid va malein kislotasi bilan gidrolizlangan sopolimerlari, ya'ni AK:MK = 1:1–1:10 molyar nisbatlarda, 40–60 °C haroratlarda va 1–6 soat davomida polimerizatsiya qilinib sintez qilingan namunalari, shuningdek ularning suvli eritmaları tanlangan.

**Tadqiqotning predmetini** sopolimerlarning sintezi va gidrolizi usullari, ularning molekulyar-massa taqsimoti, qovushqoqlik xususiyatlari (viskozimetriya) hamda ushbu parametrlarning suvli eritmaların reologik va struktura hosil qiluvchi xossalari ta'siri o'rganishi tashkil etgan.

**Tadqiqotning usullari.** Dissertatsiya ishini bajarishda struktura hosil qiluvchilarning fizik-kimyoviy (IQ-spektroskopik, mikroskopik tahlillar) hamda kolloid-kimyoviy (titrometriya, viskozimetriya, gel-xromatografik tahlillar) xususiyatlarini aniqlashda zamonaviy va an'anaviy usullardan keng foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

akrilamid va malein kislotasining 5:1 molyar nisbatida, 50–55 °C haroratda va 4 soat davomida olib borilgan reaksiyasida yuqori molekulyar massa ( $M_w \approx 2800$ –3000 shartl. bir.) va tor molekulyar-massa taqsimoti ( $PDI \approx 1,5$ –1,7) ga erishilib, bu zanjirlarning uzilishlarini minimal darajaga keltirish va polimerning funksionallashuv darajasining maksimal bo'lishi bilan bog'liqligi aniqlangan;

sopolimer eritmalarining qovushqoqlik xususiyatlari ularning molekulyar-massa parametrlari bilan bog'liqligi, xususan xarakteristik qovushqoqlikning eng yuqori qiymatlari va yaqqol psevdoplastik xususiyatlar  $M_w \approx 2800$ –3000 kDa bo'lganda kuzatilib, bu esa polimer zanjirlarining optimal tarmog'ining shakllantirilib bo'lganligi aniqlangan;

IQ-Furye spektroskopiyasi va mikroskopik tahlil yordamida karboksilat guruhlarining ( $1400$ – $1550 \text{ cm}^{-1}$ ) chiziqlari intensivligi malein bo'g'inlari miqdori hamda gidroliz darajasiga to'g'ri proporsional va bu namunalarda g'ovakli va bir tekis agregatlangan morfologiyaga ega ekanligi, bu esa makromolekulalarning mustahkam tuzilmaga birlashuvini ta'minlashi isbotlangan;

gidrolizlangan sopolimerlarning 0,1–0,2 % konsentratsiyada va 200–400 l/ga sarflanishi natijasida suvga chidamli suglinka agregatlari ulushi 24–33 %ga oshishi, bu esa polimer zanjirlarining mineral yuzalarga adsorbsiyasi va ularning barqaror mezoagregat ko'priklariga joylashishi bilan bog'liqligi aniqlangan;

struktura hosil qiluvchilarni olish texnologiyasi ishlab chiqilib, sanoat sharoitida olib borilgan sintez texnologiyasi sopolimerning unumini 95 % dan yuqori darajada ta'minlashi isbotlangan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

akrilamid va malein kislotasi sopolimerlarini sintez qilishning metodik asoslari ishlab chiqilgan;

akrilamid va malein kislotasi sopolimerlari asosida struktura hosil qiluvchilarni ishlab chiqarishning laboratoriya va sanoat texnologiyasi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Ilmiy tadqiqotlar zamonaviy fizik-kimyoviy (IQ-spektroskopiya, elektron-mikroskopiya) hamda kolloid-kimyoviy (viskozimetriya, titrometriya) tahlillar asosida olib borilgan, tajriba sinovlari esa O‘zbekiston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o‘zgarishi vazirligi bazasida laboratoriya va dala sharoitlarida amalga oshirilib, sinov aktlari bilan tasdiqlangan.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.**

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati akrilamidning to‘yinmagan kislotalar bilan sopolimerlarini yo‘naltirilgan sintez qilish metodologiyasini ishlab chiqish, sopolimerlarning tarkibi bilan qovushqoqlik xususiyatlari, shuningdek molekulyar massa va molekulyar-massa taqsimoti o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni aniqlash bilan tuproqning suvga chidamli agregatlarini oshirish uchun yuqori samarali struktura hosil qiluvchi qo‘shimchalarni maqsadli yaratish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati akrilamid sopolimerlari asosida yuqori qovushqoqlik ko‘rsatkichlariga ega struktura hosil qiluvchi yoki agregatsiya qiluvchi materiallarni olish va qo‘llash texnologiyasini ishlab chiqishda, shuningdek kimyo, kimyoviy texnologiya va ekologiya sohalarida bakalavr hamda magistr mutaxassislarni tayyorlash jarayonida xizmat qiladi.

**Tadqiqot natijalarining joriy etilishi.** Akrilamid va malein kislotasi sopolimerlarini sintez qilish jarayonlari bo‘yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

akrilamid va akril kislotasi sopolimerlari asosida struktura hosil qiluvchilar ishlab chiqish texnologiyasi «GIDROGEL» MChJ “«2026-2027-yillarda amaliyotga joriy etish boyicha istiqbolli ishlanmalar ro‘yxati»ga kiritilgan (O‘zbekiston Respublikasi Qishloq Xo‘jaligi vazirligining 2025 yil 8 oktabr 05/04-04-614-son ma’lumotnomasi). Natijada, yuqori struktura hosil qilish qobiliyatiga ega va tannarxi 75 000 so‘m/kg bo‘lgan sopolimerlarni olish imkoniyatini beradi;

tuproqning suvga chidamlilik ko‘rsatkichlarini oshirish uchun ishlab chiqilgan akrilamid va malein kislotasi sopolimerlari asosidagi struktura hosil qiluvchilar “Ismoiljon namuna” fermer xo‘jaligining «2026-2027-yillarda amaliyotga joriy etish boyicha istiqbolli ishlanmalar ro‘yxati»ga kiritilgan (O‘zbekiston Respublikasi Qishloq Xo‘jaligi vazirligining 2025 yil 8 oktabr 05/04-04-614-son ma’lumotnomasi). Natijada, optimal konsentratsiya (0,2 %) va sarf me‘yorida (400 l/ga) suvga chidamli agregatlar ulushi 33,5 % gacha oshirilishi imkoniyatini beradi..

**Tadqiqot natijalarining aprotatsiyasi.** Mazkur tadqiqotning asosiy natijalari 10 ta, jumladan, 7 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o‘tkazilgan.

**Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 15 ta ilmiy ish chop etilgan bo‘lib, shulardan, O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy

natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 5 ta maqola, shundan 4 ta Respublika va 1 ta xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya xajmi 123 betni tashkil etadi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va talab yuqoriligi asoslab berilgan, maqsad va vazifalar shakllantirilgan, tadqiqotning obyektlari va predmeti tavsiflangan, O‘zbekiston Respublikasining ilm-fan va texnologiyalarning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi aks ettirilgan, ilmiy yangilik, nazariy va amaliy ahamiyat bayon qilingan, tadqiqot natijalarining joriy qilinishi, chop etilgan ishlanmalar, approbatsiya va dissertatsiya tuzilishi haqida ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Akrilamid va malein kislotasi sopolimerlarini sintez qilish hamda ularning kolloid-kimyoviy xossalarning zamonaviy holati va rivojlanish yo‘nalishlari**» deb nomlangan birinchi bobida akrilamidning to‘yinmagan kislotalar bilan sopolimerlarini sintez qilish usullari va xususiyatlari, suvda eruvchan sopolimerlarning kolloid-kimyoviy ko‘rsatkichlari, shuningdek tuproq dispersiyalarining tuzilishi va barqarorlik omillari tahlil qilingan. Ayniqsa, gidrolizlangan sopolimerlarning tuproq komponentlari bilan o‘zaro ta’siriga alohida e’tibor qaratilgan. O‘tkazilgan tahlil mazkur dissertatsiya tadqiqotining maqsadini shakllantirish va vazifalarni belgilash uchun asos bo‘lib xizmat qilgan.

Dissertatsiyaning «**Akrilamid va malein kislotasi sopolimerlarini sintez qilish metodologiyasi va analitik tadqiqi**» deb nomlangan ikkinchi bobida sopolimerlarni sintez qilish usullari yoritilgan va ilmiy asoslab berilgan. Akrilamid (Sigma Aldrich, CAS № 79-06-1) «k.t.» tozaligida, sofligi 99 % dan kam bo‘lmagan, zichligi 1,30 g/sm<sup>3</sup>, erish harorati 84,6 °C va qaynash harorati 160 °C bo‘lgan preparat shaklida qo‘llanilgan. Malein anhidrid (Sigma Aldrich, CAS № 108-31-6) ham «k.t.» darajasidagi modda sifatida, sofligi ≥99 %, zichligi 1,48 g/sm<sup>3</sup>, erish harorati 52,8 °C va qaynash harorati 202 °C bo‘lgan holda ishlatilgan.

Akrilamid va malein kislotasining sopolimerizatsiyasi borosilikat reaktorida aralashtirgich va termostatlash tizimi bilan olib borilgan. Reaktorga monomerlar (AA:MK = 1:1–10:1, 10 g) va 100 ml suv yuklangan, aralashma inert gaz yordamida degazatsiya qilingan, 40 °C gacha qizdirilgan va 0,1 % kaliy persulfat qo‘shilgan. Polimerizatsiya 40–60 °C haroratda o‘tkazilgan, so‘ng aralashma sovutilgan, NaOH qo‘shilib, 50 °C da 2 soat davomida ishqoriy gidroliz amalga oshirilgan. Olingan sopolimer atsetonda cho‘ktirilgan, yuvilgan va ≤60 °C da doimiy massa hosil bo‘lguncha quritilgan.

Akrilamid va malein kislotasi sopolimerlarining molekulyar massasi va taqsimotini aniqlash ularning reologik xossalari, flokulyatsion faolligi va kolloid tizimlarning barqarorligini baholash uchun muhim ahamiyatga ega. Viskozimetrik usullar, ayniqsa xromatografik uskunalari mavjud bo‘lmaganda, nazoratning ishonchli va qulay vositasi bo‘lib qolmoqda. Mazkur bobning ushbu qismida AA–MK tizimining qovushqoqlik xususiyatlari o‘rganilgan.

Suvda suyultirilgan eritmalarning (0,1–1,0 g/dl) qovushqoqligi 25 °C da Ubbelohde viskozimetri yordamida oʻlchangan. Olingan natijalar asosida nisbiy, solishtirma, keltirilgan va xarakterli qovushqoqlik hisoblangan hamda ular orqali Mark–Kun–Hauvinck tenglamasi boʻyicha oʻrtacha molekulyar massa baholangan.

Molekulyar-massa parametrlarini aniqroq belgilash uchun gel-penetratsion xromatografiya qoʻllanilgan (Agilent 1260 Infinity II, UF va refraktometrik detektorlar). Namuna eritmaları (2–3 mg/ml) suvda eritilgan, 0,45 mkm filtrlardan oʻtkazilgan va PL Aquagel OH Mixed M kolonkalarda 30 °C da tahlil qilingan. Eluent sifatida fosfat bufer eritmasi (0,1 M, pH 7,0) 0,02 % NaN<sub>3</sub> qoʻshimchasi bilan ishlatilgan, oqim tezligi 0,8 ml/min ni tashkil qilgan. Kalibrlash poliakrilamid namunalariga (Mw 50–2000 kDa) asoslangan boʻlib, hisob-kitoblar Agilent GPC/SEC Toolkit dasturi yordamida amalga oshirilgan. Natijada Mn, Mw va polidisperslik koʻrsatkichi (Mw/Mn) aniqlangan.

Akrilamidning malein va akril kislotalar bilan sopolimerlarining fizik-kimyoviy xossalari hamda ularning dispers tizimlarda struktura hosil qilishga taʼsiri quyidagi usullar yordamida oʻrganilgan. Furye-IQ spektroskopiyasi Spectrum Two (PerkinElmer) spektrometrida 350–8300 sm<sup>-1</sup> diapazonda oʻtkazilgan, namunalar KBr bilan tabletkalar shaklida tayyorlangan. Ushbu tahlil sopolimerizatsiyani va gidroliz darajasini tasdiqlovchi xarakterli chiziqlarni aniqlash imkonini bergan.

Kislotalilik soni NaOH eritmasi yordamida suv-spirt muhitida potensiometrlik titrlash orqali aniqlangan va natijalar mg KOH/g da ifodalangan. Morfologiya esa skanerlovchi elektron mikroskopiya (JEOL JSM IT200) usuli bilan, namunalariga uglerod yoki oltin qoplashdan soʻng oʻrganilgan; olingan tasvirlar yordamida tekstura, agregatsiya va fazaviy taqsimot baholangan.

Element tarkibi (C, H, N, S) FlashSmart CHNS/O asbobida tahlil qilingan boʻlib, bu sopolimerning gidroliz darajasini hisoblash va stexiometriyasini tasdiqlash imkonini bergan.

Suvga chidamli agregatlarning miqdoriy aniqlanishi polimer qoʻshimchalarning struktura hosil qilish samaradorligini baholashning asosiy usuli hisoblanib, turli tip va konsentratsiyadagi materiallarni tuproqni barqarorlashtirish uchun qiyosiy solishtirish imkonini beradi. Nam elash usuli nafaqat agregatlarning mustahkamligini, balki polimer tomonidan tuproqning barqaror ichki tuzilmasi shakllanish darajasini ham aks ettirib, bu agrotehnika va injener-geologik qoʻllanmalar uchun muhim ahamiyatga ega.

Tadqiqotda yuqori qatlamdagi (0–20 sm) namunalardan foydalanilgan boʻlib, ular oʻsimlik qoldiqlaridan tozalangan va 8 mm li elakdan oʻtkazilgan. Tahlil uchun 1–5 mm hajmdagi agregatlar tanlangan, ular ~50 % nisbiy namlikda namlantirilgan, soʻng 40 °C da doimiy massa (M<sub>0</sub>) hosil boʻlguncha quritilgan.

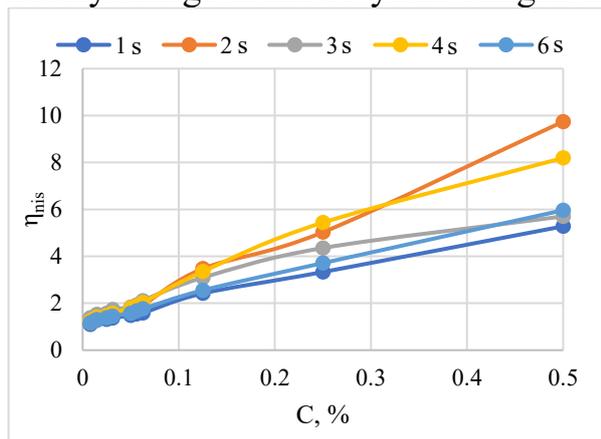
Agregatlarning mustahkamligi nam elash usuli yordamida baholangan: namunalar 2,0 mm li elakka joylashtirilib, deionizatsiyalangan suv bilan toʻldirilgan va 10 daqiqa davomida vertikal tebranishlarga (30 sikl/min) duchor qilingan. Natijada 2,0; 1,0 va 0,25 mm elaklarda ushlanib qolgan fraksiyalar yuvilgan, 40 °C da quritilgan va tortilgan (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>). <0,25 mm fraksiyalar ham chiqishni hisoblashda inobatga olingan.

Suvga chidamli agregatlar miqdori (WSA) quyidagi formula bo'yicha hisoblangan:

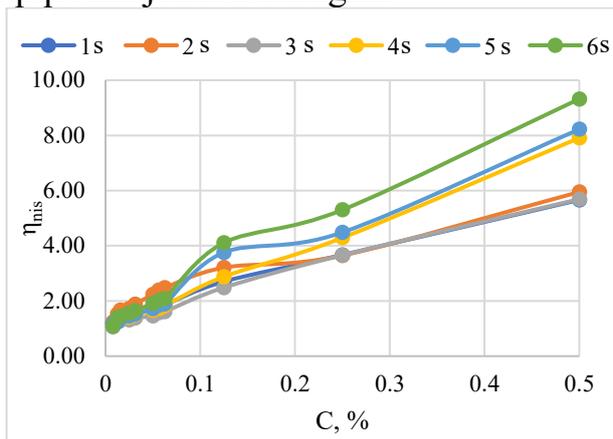
$$W_{\%} = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{M_0} * 100,$$

bu yerda  $M_0$  – agregatlarning dastlabki quruq massasi,  $M_1, M_2, M_3$  – mos ravishda 2,0; 1,0 va 0,25 mm elaklarda ushlanib qolgan fraksiyalar massasi.

Dissertatsiyaning «Akrilamid va akril kislotasi sopolimerlarining tuzilishi va qovushqoqlik xususiyatlariga sopolimerizatsiya sharoitlarining ta'sirini o'rganish» deb nomlangan uchinchi bobida turli omillarning sopolimerlarning xususiyatlariga ta'siri bo'yicha olingan tadqiqot natijalari keltirilgan.



**1-rasm. AA/MK = 10/1 nisbatda 50 °C da sintez qilingan sopolimer eritmalarining nisbiy qovushqoqligining turli sopolimerizatsiya davomiylıklarida o'zgarishi.**

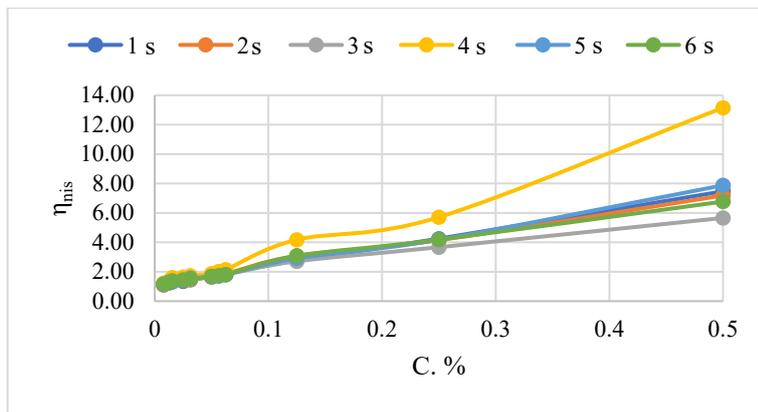


**2-rasm. AA/MK = 10/1 nisbatda 55 °C da sintez qilingan sopolimer eritmalarining nisbiy qovushqoqligining turli sopolimerizatsiya davomiylıklarida o'zgarishi.**

Akrilamid va malein kislotasi sopolimeri eritmalarining nisbiy qovushqoqligi ( $\eta_{nis}$ ) sintez davomiyligi turlicha bo'lganda makromolekulalarning o'sishi va degradatsiyasi dinamikasini aks ettiradi. Dastlabki 2 soatda zanjirlarning o'sishi ustunlik qiladi, bu esa barcha konsentratsiya diapazonida  $\eta_{nis}$  ning maksimal qiymatlariga olib keladi. 3–4 soat davomida o'sish qisman davom etadi, biroq zanjir ko'chishi va dastlabki degradatsiya belgilari kuzatiladi. 5–6 soatdan so'ng destruktiv jarayonlar va krosslinking kuchayib, qovushqoqlikni kamaytiradi.

Suyultirilgan eritmalarda ( $C \leq 0,015\%$ ) molekulyar massa ta'siri minimal bo'lib,  $\eta_{nis}$  deyarli farq qilmaydi. 0,05–0,25 % diapazonda sintez vaqtiga bog'liq farqlar eng yaqqol ko'rinadi, bu gidrodinamik o'zaro ta'sirlar va assotsiatsiyalar hosil bo'lishi bilan izohlanadi. Optimal polimerizatsiya vaqti 3–4 soatni tashkil etadi.

Haroratning 50 °C dan 55 °C gacha ko'tarilishi polimerizatsiyani tezlashtiradi, biroq assotsiativ tuzilmalar shakllanishini sekinlashtiradi. 50 °C da  $\eta_{nis}$  maksimumi ( $\approx 9$ ) 2 soatda erishiladi, 55 °C da esa faqat 4–6 soatda ( $\approx 9,3$ ), bu massa to'planishi va tarmoqlanish hisobiga yuz beradi. Suyultirilgan eritmalarda ham temperaturaning ta'siri kuzatiladi: 50 °C da  $\eta_{nis}$  1,38 gacha, 55 °C da esa 1,45 gacha oshadi. Demak, harorat oshishi optimal sintez vaqtini siljitadi, bu esa reologik faol sopolimerlarni ishlab chiqishda inobatga olinishi zarur.

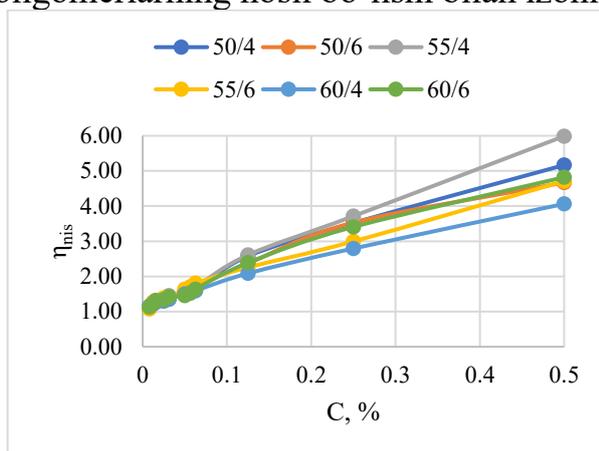


**3-rasm. AA/MK = 10/1 nisbatda 60 °C da sintez qilingan sopolimer eritmalarining nisbiy qovushqoqligining turli sopolimerizatsiya davomiyliklarida o‘zgarishi.**

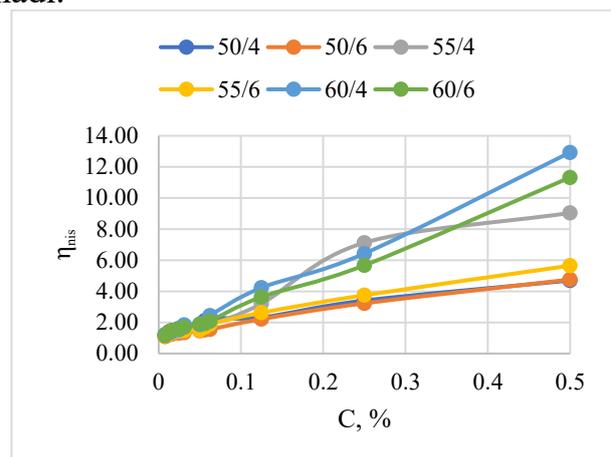
60 °C da polimerlanish jarayonida dastlabki 2 soatda kaliy persulfatning tez parchalanishi zanjirlarning tez o‘shishini ta’minlaydi: C = 0,5 % da  $\eta_{nis}$  1 soatda 7,47 va 2 soatda 7,19 ga yetadi. 3 soatda  $\eta_{nis}$  5,66 gacha kamayadi, bu zanjir ko‘chishi va radikallar rekombinatsiyasi bilan bog‘liq. 4 soatda esa zanjirlarning uzayishi va tarmoqlanishi zich assotsiativ tuzilma shakllanishiga olib kelib,  $\eta_{nis}$  maksimal 13,15 qiymatiga erishadi. 5–6 soatlardan so‘ng degradatsiya va yashirin zanjirlararo bog‘lanishing ustunlik qiladi, natijada  $\eta_{nis}$  mos ravishda 7,88 va 6,77 gacha pasayadi.

Suyultirilgan eritmalarda ( $C \leq 0,015$  %)  $\eta_{nis}$  o‘rtacha darajada o‘zgaradi: 1 soatda 1,18–1,32 dan 4 soatda 1,21–1,45 gacha ko‘tarilib, keyinchalik biroz pasayadi. Bu holat past konsentratsiyalarda makromolekulalarning gidrodinamik ta’siri zaif ekanini aks ettiradi.

AA:MK ning molyar nisbati sopolimerlarning molekulyar tuzilishi va eritmaning qovushqoqligiga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatadi. Optimal xususiyatlar ~7:1 nisbatda kuzatiladi, bunda yuqori anionlikka ega uzun zanjirlar shakllanadi: C = 0,5 % da  $\eta_{nis} \approx 15$  ga yetadi. AA:MK 3:1 gacha kamaytirilganda esa qovushqoqlik 5–6 gacha tushadi, bu esa o‘rtacha molekulyar massani kamaytiruvchi qisqa MK-oligomerlarning hosil bo‘lishi bilan izohlanadi.



**4-rasm. AK/MK = 3/1 nisbatda sopolimerning nisbiy qovushqoqligining konsentratsiyaga turli harorat va sopolimerizatsiya jarayoni davomiyliklarida bog‘liqligi.**



**5-rasm. AK/MK = 5/1 nisbatda sopolimerning nisbiy qovushqoqligining konsentratsiyaga turli harorat va sopolimerizatsiya jarayoni davomiyliklarida bog‘liqligi.**

AA ortiqcha bo‘lganda (masalan, 10:1 nisbatda) molekular uzun bo‘lib qoladi, biroq karboksil guruhlar ulushi kamayadi, bu esa anionlik va

qovushqoqlikning pasayishiga olib keladi. Optimal diapazon AA:MK  $\approx$  7:1–8:1 bo‘lib, u yuqori molekulyar massa, ion guruhlari tarkibi va mahsulot unumini ( $\sim$ 98 %) ta’minlaydi.

Shunday qilib, kislotaning o‘rtacha miqdori (12–20 %) maksimal qovushqoqlikka erishish uchun muhim ahamiyat kasb etadi. MK ortiqcha bo‘lganda zanjirlar qisqaradi, AA ortiqcha bo‘lganda esa ion to‘yinganligi kamayadi. Ushbu qonuniyatlar eksperimental natijalar va adabiyot ma’lumotlari bilan tasdiqlangan.

**1-jadval.**

**Turli haroratlarda va reaksiyaning davomiyligi (4 va 6 soat)da sopolimerizatsiya unumi, %**

| AA/MK nisbati | Harorat, °C |        |        |        |        |        |
|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|               | 50          |        | 55     |        | 60     |        |
|               | 4 soat      | 6 soat | 4 soat | 6 soat | 4 soat | 6 soat |
| 1 : 1         | 84          | 82     | 83     | 86     | 83     | 81     |
| 3 : 1         | 82          | 88     | 90     | 92     | 94     | 95     |
| 5 : 1         | 92          | 94     | 96     | 96     | 98     | 98     |
| 7 : 1         | 95          | 96     | 98     | 98     | 99     | 99     |
| 10 : 1        | 94          | 95     | 97     | 97     | 99     | 99     |

AA/MK = 1:1 nisbatda unum past (81–86 %) bo‘lib qoladi, chunki kislotali muhit zanjirlarning o‘shirishini sekinlashtiradi. Harorat va vaqtning oshirilishi dastlabki neytrallashtirish konversiyasiga deyarli ta’sir ko‘rsatmaydi.

AA/MK = 3:1 nisbatda haroratni 50 °C dan 60 °C gacha oshirish va vaqtni 6 soatgacha cho‘zish natijasida unum 94–95 % gacha ko‘tariladi, bu esa initsiatorning tez parchalanishi va zanjirlarning uzayishi bilan izohlanadi. AA/MK = 5:1–10:1 nisbatlarda esa allaqachon 50 °C va 4 soatda 92–94 % ga erishiladi; 55 °C da unum 96–97 % ga, 60 °C va 6 soatda esa 98–99 % ga yetadi, bu monomerning deyarli to‘liq konversiyasidan dalolat beradi.

2-jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, AA/MK (10:1) sopolimerlarining molekulyar massasi polimerizatsiya vaqti va haroratiga bog‘liq. Vaqt oshirilganda  $M_w$  dastlab ortib, maksimal qiymatga yetadi, keyin kamayadi. Optimal natija 55 °C da kuzatiladi:  $M_w \approx 4674$  (2 soatda), bu 50 °C da ( $\sim 4311$ , 3 soatda) va 60 °C da ( $\sim 2658$ , 4 soatda) olingan qiymatlardan yuqori. Haroratning ko‘tarilishi polimerizatsiyani tezlashtiradi, biroq zanjir uzilishlarini ham kuchaytiradi, ayniqsa 60 °C da, bu yerda disproportsiyalanish ustunlik qilib, zanjir uzunligi kamayadi (masalan,  $M_w \approx 1824$ , 1 soatda).

**2-jadval.**

**Polimerizatsiya vaqti va haroratining AA:MK (10:1) sopolimerlarining molekulyar-massa (kDa) ko‘rsatkichlariga ta’siri**

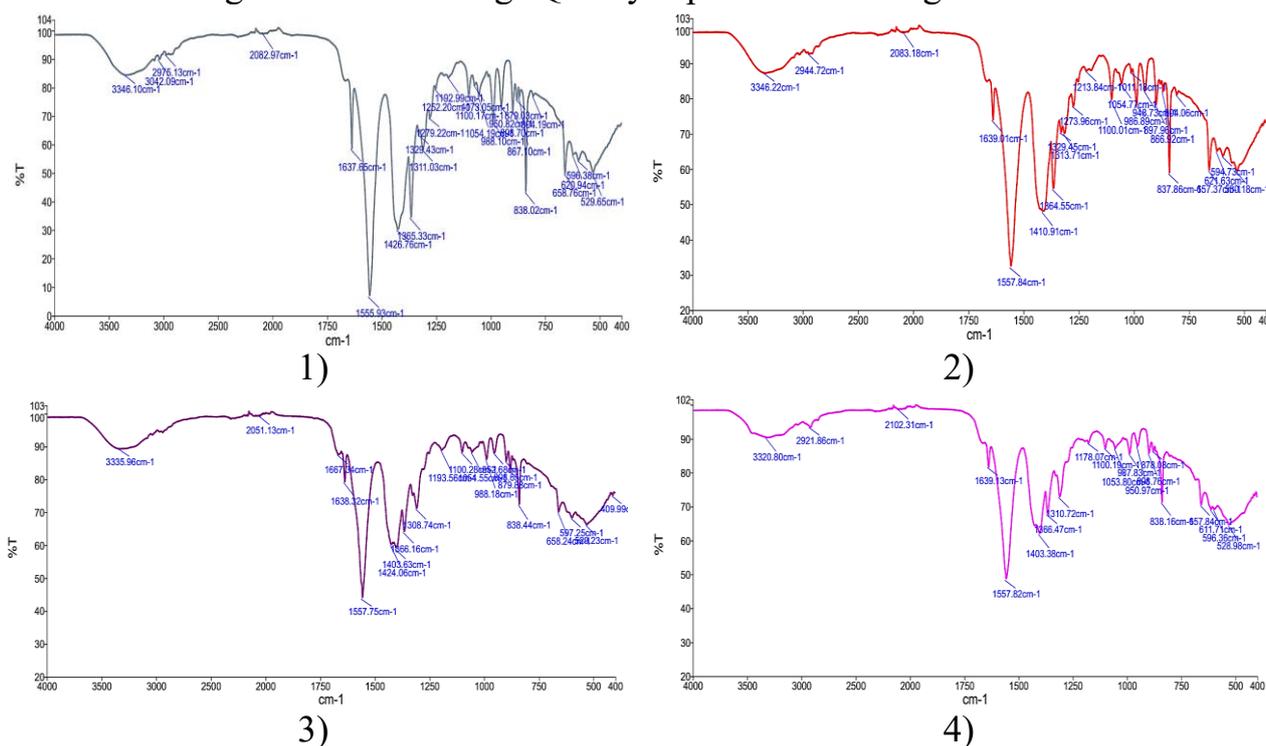
| Davomiylilik, soat | Температура, °C |        |        |
|--------------------|-----------------|--------|--------|
|                    | 50              | 55     | 60     |
| 1                  | 2380,5          | 3164,8 | 1823,8 |
| 2                  | 3620,7          | 4674,1 | 2468,5 |
| 3                  | 4311,1          | 4131,2 | 2494,1 |
| 4                  | 3292,8          | 2202,3 | 2657,8 |
| 5                  | 1837,8          | 2015,4 | 2185,6 |
| 6                  | 2039,4          | 3163,4 | 2317,4 |

50 °C da zanjirlarning o'sish tezligi uzilishlardan yuqori bo'lsa-da, polimerlanish jarayoni sekinroq kechadi. 55 °C da muvozanat optimal bo'lib, radikallar faol, parchalanish esa juda kam. 60 °C da radikallar konsentratsiyasining yuqoriligi monomerning tezroq sarflanishiga olib keladi, biroq erta uzilishlarni yuzaga keltirib, Mw ni kamaytiradi.

Mw ning vaqt bo'yicha o'zgarishi to'g'ri chiziqli emas: dastlab o'sish (tezlashuv va uzilishlarning kamayishi hisobiga), keyinchalik esa pasayish (monomer tugashi, yon reaksiyalar va issiqlik ta'sirida buzilish sababli) kuzatiladi. Masalan, 55 °C da Mw  $\approx$  4674 (2 soatda) dan  $\approx$  2015 (5 soatda) gacha kamayadi; 50 °C da esa  $\approx$  4311 (3 soatda) dan  $\approx$  1838 (5 soatda) gacha tushadi. Qisman gidrolitik va oksidlovchi parchalanish ham massa kamayishiga hissa qo'shadi.

6 soatda Mw ning kichik ikkilamchi o'sishi (masalan, 50 °C da  $\approx$  1838 dan  $\approx$  2039 gacha) radikallarning kech qayta birikishi yoki qolgan monomerning polimerlanishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Biroq bu o'sish umumiy pasayishni qoplamaydi: optimal vaqtdan ortib ketish parchalanishga va Mw ning kamayishiga olib keladi.

Monomerlar nisbati, harorat va polimerlanish vaqti ta'sirini yaqqol ko'rsatish uchun AA:MK 5:1–7:1 molyar nisbatda, 50–55 °C haroratlarda va 4–6 soat sintez sharoitida olingan namunalarning IQ-Furye spektrlari keltirilgan.



**6-rasm. Namunalar IQ-spektrlari AA/MK nisbati – harorati – polimerlanish jarayoni davomiyligi bo'yicha: 1) 7/1 – 50 °C – 6 soat; 2) 5/1 – 50 °C – 6 soat; 3) 7/1 – 50 °C – 4 soat; 4) 5/1 – 50 °C – 4 soat.**

AA/MK sopolimerlarining IQ-spektrlarida  $\approx$ 3300–3350 sm<sup>-1</sup> diapazonda keng chiziq qayd etilgan bo'lib, bu N–H ning O–H/COOH bilan vodorod bog'larini bildiradi. Shuningdek, amid I va II chiziqlari ( $\approx$ 1650 va  $\approx$ 1550 sm<sup>-1</sup>) hamda COO–

signallari ( $\approx 1400$  va  $>1550 \text{ cm}^{-1}$ ) kuzatilgan bo‘lib, ular sopolimerlanish va qisman gidroliz jarayonlarini tasdiqlaydi.

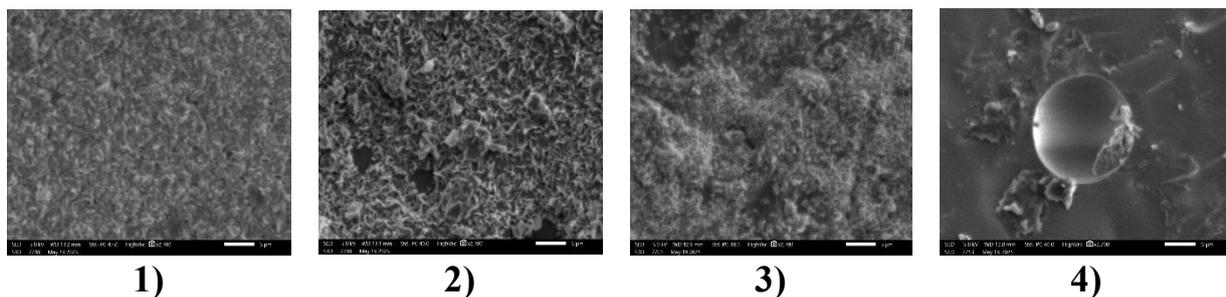
5:1 nisbatda  $\text{COO}^-$  chiziqlari 7:1 ga nisbatan kuchliroq bo‘lib, bu karboksil guruhlarining ko‘proq funkcionallashuvini va ionlanish samaradorligini aks ettiradi. Polimerlanish jarayonining uzoqroq davom etishi (6 soat) amid chiziqlarini kuchaytiradi, N–H/O–H chiziqlarini past chastotali soha tomon siljitadi hamda vinil qoldiqlari signallarini susaytiradi.

$\approx 2050\text{--}2100 \text{ cm}^{-1}$  diapazondagi yutilishlar amid tebranishlarining obertonlari yoki iz impuritlar bilan bog‘liq.  $1000\text{--}1200 \text{ cm}^{-1}$  zonasidagi (C–N, C–O) signallar gidroliz darajasi va zanjirlarning konformatsiyasiga qarab o‘zgaradi va 5:1 nisbat hamda 6 soatda kuchayadi. Demak, 5:1 nisbat va 6 soat sharoitida  $\text{COO}^-$  ulushi hamda molekulararo o‘zaro ta’sirlar ortadi, 7:1 nisbatda esa amid fragmentlari ustunlik qiladi. Ushbu farqlar sopolimerlarning kolloid va reologik xossalarini belgilaydi.

$55 \text{ }^\circ\text{C}$  da olingan IQ-spektrlarda farqlar molyar nisbat va polimerlanish vaqtiga bog‘liq. AA/MK = 5:1 nisbatda karboksilat chiziqlari ( $\sim 1550$  va  $\sim 1400 \text{ cm}^{-1}$ ) kuchayadi hamda  $\sim 3300 \text{ cm}^{-1}$  diapazoni kengayadi, bu 7:1 nisbatga nisbatan yuqori darajada funkcionallashuv va vodorodli assotsiatsiyani aks ettiradi. 7:1 nisbatda esa amid chiziqlari ustunlik qiladi.

5:1 nisbatda vaqtni 4 soatdan 6 soatga oshirish amid signallarining susayishiga, C=O chiziqlarining kuchayishiga va keng O–H/N–H sohasining paydo bo‘lishiga olib keladi, bu esa uchki guruhlar ulushi ortishi, qisman parchalanish va Mw kamayishi bilan bog‘liq. 7:1 nisbatda esa 4 va 6 soatdagi spektrlar deyarli bir xil bo‘lib, bu zanjirlarning barqarorligi va uzilishga sezgirligi pastligini ko‘rsatadi. Karboksilat chiziqlarining sust ifodalanishi MK ning cheklangan qo‘shilganligini bildiradi.

$2050\text{--}2110$  va  $1000\text{--}1100 \text{ cm}^{-1}$  sohalardagi kichik o‘zgarishlar sopolimerlanish jarayonining tugallanish darajasi va konformatsion farqlarni aks ettiradi.

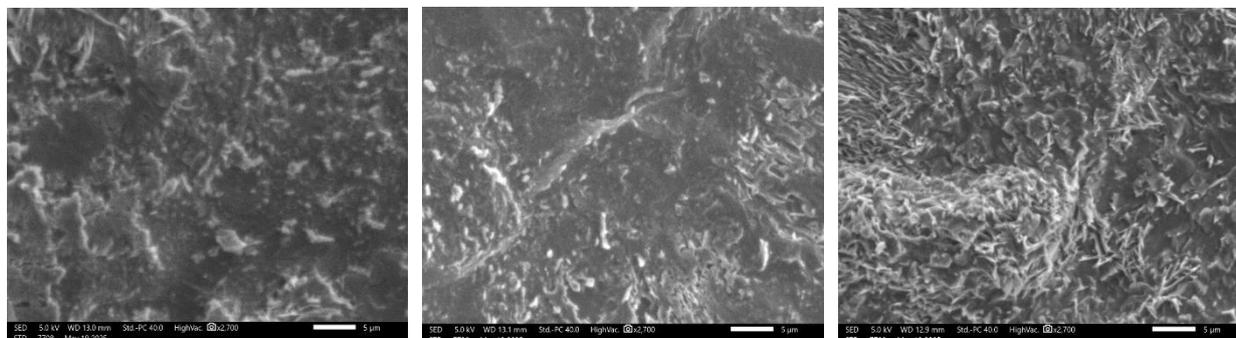


**7-rasm. Namunalar mikroskopik tasvirlari: 1) 7/1-50-4; 2) 7/1-55-4; 3) 7/1-50-6; 4) 7/1-55-6.**

Mikrotasvirlar (7-rasm) AA:MK = 7:1 sopolimerining morfologik tuzilishidagi o‘zgarishlarni harorat va polimerlanish vaqtiga bog‘liq ravishda ko‘rsatadi.  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , 4 soat (1-namuna) da tuzilma nozik tolali va g‘ovakli bo‘lib, zanjirlararo aniq assotsiatsiyalar kuzatiladi.  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ , 4 soat (2-namuna) da esa qo‘pol

tolali, zichroq to‘r shakllanadi, bu kuchliroq molekulararo o‘zaro ta’sirlar bilan izohlanadi.

50 °C, 6 soat (3-namuna) da tuzilma yanada zichlashib, qo‘shilib ketish zonalari hosil bo‘ladi, bu zanjirlarning qayta taqsimlanishi va qisman bo‘shashishi bilan bog‘liq. 55 °C, 6 soat (4-namuna) da esa zich asosiy tuzilma shakllanib, unda yirik sferik sohalar kuzatiladi. Bu holat lokal fazaviy ajralish yoki mikrogellar hosil bo‘lishining mumkin bo‘lgan belgisi sifatida talqin qilinadi.



1)

2)

3)

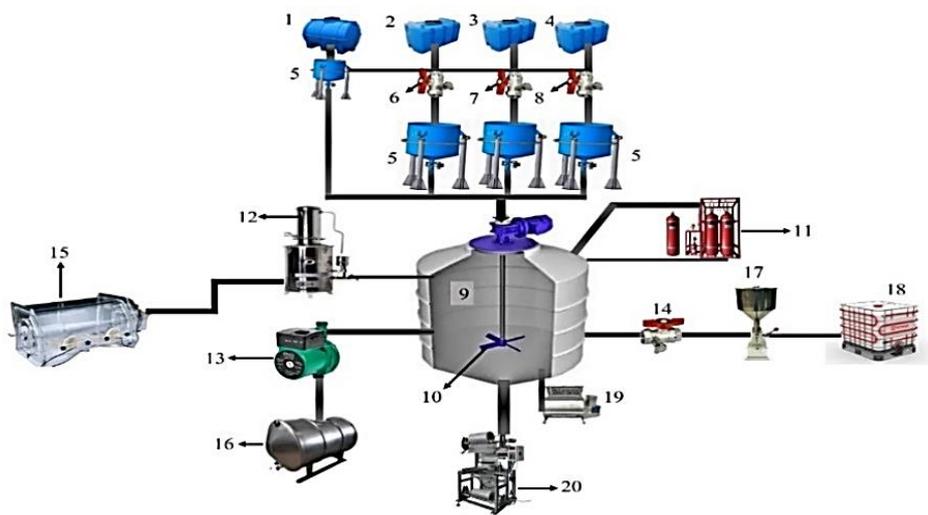
**8-rasm. Namunalar mikroskopik tasvirlari: 1) 5/1-50-4; 2) 5/1-55-4; 3) 5/1-60-4.**

Mikrotasvirlarda (8-rasm) AA:MK = 5:1 nisbat va 4 soat doimiy davomiylikda haroratning o‘zgarishi sopolimerning mikrostrukturasi qanday o‘zgarishini ko‘rish mumkin. 50 °C da olingan namuna nisbatan bir xil, nozik tolali to‘rni ko‘rsatadi, unda polimer segmentlari teng taqsimlangan. Bunday morfologiya zanjir uzunligi yetarli va harakatchanligi o‘rtacha bo‘lgan sopolimerlarga xos bo‘lib, bunda zanjirlararo o‘zaro ta’sirlar shakllanadi, ammo kuchli lokal agregatsiyaga olib kelmaydi.

Harorat 55 °C ga ko‘tarilganda (2-namuna) yanada zich va bog‘langan assotsiativ tuzilma kuzatiladi, bu eng yuqori o‘rtacha molekulyar massa bilan bog‘liq. Haroratni 60 °C gacha oshirish morfologiyada sezilarli o‘zgarishlarga olib keladi: cho‘zilgan, yo‘nalgan tolali yoki “igna shaklidagi” agregatlar hamda lokal klasterlarning kuchayib shakllanishi namoyon bo‘ladi.

Dissertatsiyaning «**Akrilamid va malein kislotasi sopolimerlarini olish texnologiyasini ishlab chiqish hamda ishlab chiqilgan struktura hosil qiluvchilar ta’sirida tuproqning suvga chidamli agregatlaridagi o‘zgarishlarni tadqiq etish**» deb nomlangan to‘rtinchi bobida struktura hosil qiluvchilar ishlab chiqarish texnologiyasini yaratish bo‘yicha tadqiqot natijalari keltirilgan.

Akrilamid va malein kislotasining gidrolizlangan sopolimerlarini ishlab chiqarish texnologiyasi va uning asosiy bosqichlari monomerlar va initsiatorni tayyorlash hamda dozalashtirish, inert muhitda radikal polimerlanish jarayonini olib borish, hosil bo‘lgan polimerni ishqoriy gidroliz qilish, uni cho‘ktirish va yuvish orqali ajratib tozalash, quruq mahsulotni quritish va maydalash, shuningdek tuproqqa qo‘shish uchun ishchi eritmalarni tayyorlash va suvga chidamli agregatlarning hosil bo‘lishini baholash bosqichlarini o‘z ichiga oladi.



**9-rasm. Akrilamid va malein kislotasi asosida struktura hosil qiluvchi modda ishlab chiqarishning texnologik sxemasi quyidagi qismlarni o‘z ichiga oladi:**

- 1) suv uchun idish, 2) akrilamid uchun idish, 3) malein kislotasi uchun idish, 4) NaOH uchun idish, 5) dozatorlar, 6) akrilamid aralashtirgichi, 7) malein kislotasi aralashtirgichi, 8) NaOH aralashtirgichi, 9) aralashtirgichli reaktor, 10) inert gazni uzatish tizimi, 11) qaytargichli sovutgich, 12) inert gazni uzatish nasoslari, 13) havoni chiqarish nasosi, 14) tayyor mahsulotni chiqarish krani, 15) yig‘ilgan havo va inert gaz uchun idish, 16) mahsulotni sovutish idishi, 17) qadoqlash apparatiga beruvchi dozator, 18) qadoqlash apparati, 19) haroratni boshqarish uchun isitgich, 20) isitgich qobig‘i.

Texnologik liniya (9-rasm) 1–4-idishlarda eritmalarni tayyorlashdan boshlanadi: 1-idishdagi suv dozator (5) orqali 6-aralashtirgichga beriladi va u yerda 2-idishdan akrilamid eritiladi; xuddi shuningdek, 3-idishdagi malein kislotasi 7-aralashtirgichda, 4-idishdagi NaOH esa 8-aralashtirgichda eritiladi. Oqimlar nasoslar va dozatorlar yordamida boshqariladi.

Hosil bo‘lgan aralashma 20-isituvchi qobiq bilan jihozlangan, aralashtirgichli 9-reaktorga yuboriladi. 10–13-elementlardan tashkil topgan tizim orqali havo chiqariladi va  $N_2$  atmosferasi yaratiladi: 13-nasos havoni so‘rib chiqaradi, 12-nasoslar  $N_2$  ni uzatadi, ortiqcha gaz va havo 15-idishda yig‘iladi.

50–55 °C da initsiator qo‘shilgach, radikal polimerlanish jarayoni boshlanadi. Harorat 20-qobiq va 19-isitgich orqali boshqariladi, bug‘lar esa 11-sovitkichda kondensatsiyalanib, qaytib reaktorga yo‘naltiriladi.

4 soatdan so‘ng reaksiya yakunlanadi: 16-idishda eritma  $\approx 30$  °C gacha sovutiladi,  $N_2$  berilishi to‘xtatiladi va havo uzatilishi qolgan radikallarni to‘sadi. Keyin eritma 14-kran orqali chiqarilib, 16-idishda sovutilib va quyuvlashtirilib, gidroliz yoki cho‘ktirish bosqichiga yuboriladi.

Gidroliz jarayonida 16-idishga ishqor qo‘shiladi va 50 °C haroratda ushlab turiladi, so‘ngra mahsulot cho‘ktirish/yuvish yoki qadoqlash bosqichiga (17-idish va 18-apparat orqali) yo‘naltiriladi.

Tizim to‘liq avtomatlashtirilgan: dozatorlar, termoparalar, 19-isitgich, gaz klapanlari va nasoslar texnologik parametrlarni boshqaradi, chastotali

harakatlantirgichga ega aralashtirgich esa kerakli tezlikni ta'minlaydi. Liniya eritmani tayyorlashdan tortib mahsulotni qadoqlashgacha bo'lgan barcha bosqichlarda sifat nazoratini amalga oshirish imkonini beradi.

Texnologik asos sifatida 100 kg quruq sopolimer ishlab chiqarish qabul qilingan. Teoretik monomer miqdorining 95 % unumi hisobida 105,3 kg umumiy monomer yuklash talab etiladi. Shu asosda yarim sanoat miqyosidagi bitta yuklama uchun moddiy balans hisoblab chiqiladi.

Kirish oqimlari tarkibiga quyidagilar kiradi: AA — monomerlar massasining 5/6 qismi, ya'ni taxminan 87,75 kg; MK — monomerlar massasining 1/6 qismi, taxminan 17,55 kg; initsiator (ammoniy persulfat, monomerlar massasining 0,5 %) — 0,53 kg. Eritmalarni tayyorlash uchun 571,2 kg deionizatsiyalangan suv (15 % li eritma konsentratsiyasi) ishlatiladi. Degazatsiya va inert atmosfera yaratish uchun taxminan 0,5 m<sup>3</sup> azot qo'llanadi. Cho'ktirish jarayoni etanol yordamida, polimer massasidan o'n baravar ortiq (1000 kg) miqdorda amalga oshiriladi.

Chiqish oqimlariga quyidagilar kiradi: maqsadli quruq sopolimer — 100 kg; cho'ktirishdan keyingi filtrat, u 1000 kg etanol, 571,2 kg suv va taxminan 5,3 kg erigan aralashmalarni (monomer qoldiqlari va initsiator tuzlari) o'z ichiga oladi; yuvish eritmaları — 100 kg etanol (har 0,5 kg/kg polimer bo'yicha ikki marta yuvish). Etanolning umumiy hajmidan 90 % (~990 kg) qayta tiklanadi va siklga qaytariladi, qolgan 110 kg (10 %) esa tozalash yoki utilizatsiyaga yuboriladi.

Oqova suvlar etanolni qayta tiklashdan keyingi suv fazasini tashkil qiladi — 681,2 kg, u monomer qoldiqlari va tuzlarni (5,3 kg) o'z ichiga oladi. Bundan tashqari, texnologik yo'qotishlar ham hisobga olinadi — taxminan 2 kg polimer chang yoki jihozlarga yopishib qolgan holda yo'qoladi.

Moddiy balans shuni ko'rsatadiki, 95 % unum bilan 100 kg quruq sopolimer olish uchun 105,3 kg monomer (87,8 kg akrilamid va 17,6 kg malein kislotasi) va har bir kg mahsulotga 6 litrdan kam suv (eritma konsentratsiyasi ≈15 %) talab etiladi. Initsiator sifatida 0,53 kg ammoniy persulfat ishlatilib, minimal sarf bilan samarali polimerlanish jarayonini ta'minlaydi.

Asosiy hajm etanolga to'g'ri keladi (≈1100 kg), uning 90 % gacha (~990 kg) qayta tiklanib, siklga qaytariladi, bu esa erituvchi sarfini kamaytiradi va utilizatsiya xarajatlarini qisqartiradi. Qolgan 110 kg spirt va ≈681 kg oqova suv (≈5,3 kg erigan aralashmalar bilan) standart tozalash va regeneratsiyaga yuboriladi. Polimer yo'qotishlari ≈2 kg (2 %) ni tashkil etib, yuqori darajadagi qayta tiklashni ko'rsatadi. Jarayon monomerlarning yuqori darajada o'zlashishi, erituvchilarning samarali ishlatilishi va chiqindilarning nazoratli hosil bo'lishi bilan ajralib turadi, bu esa yarim sanoat ishlab chiqarishning iqtisodiy va ekologik maqsadga muvofiqligini ta'minlaydi.

1 kg quruq sopolimer ishlab chiqarish qiymatining taxminiy hisob-kitobi asosiy komponentlarning massa sarfi va laboratoriya (yarim sanoat) sharoitlariga xos narxlar asosida amalga oshirilgan:

Akrilamid (87,75 kg / 100 kg mahsulot): narxi ≈ 3 USD/kg;  $87,75 \times 3 = 263,25$  USD; Malein kislotasi (17,55 kg): narxi ≈ 4 USD/kg;  $17,55 \times 4 = 70,20$  USD; Ammoniy persulfat (0,53 kg): narxi ≈ 5 USD/kg;  $0,53 \times 5 = 2,65$  USD; Suv (571,2 kg): narxi ≈ 0,001 USD/kg;  $571,2 \times 0,001 \approx 0,57$  USD; Etanol (110 kg yo'qotish, 10 %):

narxi  $\approx 1$  USD/kg;  $110 \times 1 = 110$  USD

Energiya va ekspluatatsion xarajatlar (isitish, aralashtirgich, nasoslar, quritgichlar, oqova suvlarni utilizatsiya qilish va b.) taxminan 0,5 USD/kg ni tashkil etadi. 100 kg mahsulot uchun bu miqdor  $100 \times 0,5 = 50$  USD ga teng.

Shu tariqa, 100 kg tayyor mahsulot uchun umumiy o'zgaruvchan xarajatlar quyidagicha hisoblanadi:  $263,25 + 70,20 + 2,65 + 0,57 + 110 + 50 = 496,67$  USD.

Mos ravishda, qabul qilingan shartlar asosida 1 kg sopolimer tannarxi  $\approx 496,67 / 100 = 4,97$  USD/kg ni tashkil etadi.

Bilvosita xarajatlar (uskunalarni amortizatsiya qilish, ma'muriy xarajatlar va boshqalar) uchun taxminan 20 % qo'shimcha hisoblanganda, tannarx  $\approx 6$  USD/kg ni tashkil etadi. Bunday baho shuni ko'rsatadiki, akrilamid–malein kislotasi asosidagi gidrolizlangan sopolimer ishlab chiqarilishi, hatto yarim sanoat miqyosida ham, tuproq va boshqa dispers tizimlar uchun samarali struktura hosil qiluvchi qo'shimcha sifatida iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir.

Quyida sopolimer eritmasi konsentratsiyasi (AA/MK = 5:1) va uning sarfi tuproq namunalari tarkibidagi suvga chidamli agregatlar (WSA) ulushiga qanday ta'sir ko'rsatishini, boshlang'ich suvga chidamli agregatlar (VPA) darajasi 42,3 % bo'lgan holda, ko'rsatib beruvchi ma'lumotlar keltirilgan.

### 3-jadval.

#### Struktura hosil qiluvchi ta'sirida VPA o'zgarishi

| Konsentratsiya, % (m/m) | Eritma sarfi, l/ga | SChA, % | $\Delta$ ChA, % |
|-------------------------|--------------------|---------|-----------------|
| 0,05                    | 100                | 55,1    | +12,8           |
| 0,05                    | 200                | 59,6    | +17,3           |
| 0,05                    | 400                | 62,8    | +20,5           |
| 0,1                     | 100                | 61,4    | +19,1           |
| 0,1                     | 200                | 66,7    | +24,4           |
| 0,1                     | 400                | 70,2    | +27,9           |
| 0,2                     | 100                | 64,9    | +22,6           |
| 0,2                     | 200                | 72,3    | +30,0           |
| 0,2                     | 400                | 75,8    | +33,5           |

3-jadvalda polimer eritmasi konsentratsiyasi va sarfining suglin tuproqdagi suvga chidamli agregatlar (SChA) ulushiga ta'siri keltirilgan. Boshlang'ich SChA qiymati 42,3 % ni tashkil qilgan. 0,05 % konsentratsiya va 100–400 l/ga sarfda SChA o'sishi 12,8–20,5 % ni tashkil etib, bu dozaga bog'liq ta'sirni tasdiqlaydi.

0,1 % konsentratsiyada SChA 27,9 % gacha ortgan, 0,2 % da esa 33,5 % gacha ko'tarilgan bo'lib, bu agregatlararo o'zaro ta'sirlarning kuchayishi va zarrachalarning yanada zich qoplanishi bilan bog'liq. Polimer qo'llash samaradorligi asosan konsentratsiya ortishi bilan oshadi, sarf miqdorining o'zgarishi esa nisbatan kamroq ta'sir ko'rsatadi.

Eng yuqori SChA qiymatlari 0,2 % va 400 l/ga sharoitida kuzatilib, o'sish 30 % dan ortiqni tashkil etgan. Ushbu natijalar AA/MK sopolimerining tuproq strukturasini mustahkamlashda yuqori samaradorligini, eroziyadan himoya qilish va suv rejimini yaxshilashda istiqbolli ekanligini tasdiqlaydi.

### XULOSA

1. Akrilamid va malein kislotasining sopolimerlanish parametrlarini optimallashtirish jarayonida aniqlanishicha, 5:1 nisbatda, 50–55 °C haroratda va 4 soat davomiylikda olib borilgan reaksiya eng yuqori oʻrtacha molekulyar massa ( $M_w \approx 2800\text{--}3000$  shartl. birlik) va tor molekulyar-massaviy taqsimot ( $PDI \approx 1,5\text{--}1,7$ ) ni taʼminlaydi. Ushbu sharoitlarda monomerlarning oʻzlashtirilishi 95 % dan oshadi. Malein kislotasi ulushi 5:1 nisbatdan past boʻlganda zanjirlarning nomutanosib ajralishi natijasida uzilish chastotasi ortadi, uning ortiqcha miqdorida (1:1–3:1) esa makromolekulalarning kuchliroq parchalanishi va qovushqoqlik xususiyatlarining pasayishi kuzatiladi.

2. Sopolimerning turli sintez parametrlarida olingan suyultirilgan suvli eritmalarining qovushqoqlik oʻlchovlari polimerning molekulyar massasi va uning xarakteristik qovushqoqligi oʻrtasida toʻgʻridan-toʻgʻri bogʻliqlik mavjudligini koʻrsatdi. Optimal sharoitlarda (AA:MK = 5:1, 50–55 °C, 4 soat) olingan namunalarda  $[\eta]$  eng yuqori qiymatlarga erishib, bu uzun makromolekulyar zanjirlar va rivojlangan assotsiativ toʻrning shakllanganligidan dalolat beradi. Qovushqoqlikning konsentratsiyaga bogʻliqligini tadqiq etish eritmalarining assotsiatsiyalangan polimerlarga xos boʻlgan psevdoplastik xulqini koʻrsatdi hamda suyuqlanish va struktura hosil qilish qobiliyatining uygʻunlashuvi uchun optimal konsentratsiya oraligʻini 0,1–0,2 % (m/m) etib belgiladi.

3. Optimal sharoitlarda (AA:MK = 5:1, 50 °C, 4 soat) sopolimerning oʻrtacha molekulyar massasi 2800–3000 ga, son jihatdan oʻrtacha massasi esa 1800–2000 ga yetishi koʻrsatildi, bu  $PDI \approx 1,5\text{--}1,7$  ga mos keladi. Haroratning 55 °C dan yuqoriligi yoki malein kislotasining ortiqchaligi zanjir uzilishlarining koʻpayishi hisobiga  $M_w$  ni kamaytiradi, aksincha yumshoq sharoitlarda makromolekulalarning maksimal uzunligi va tor taqsimotiga erishiladi, bu esa eng yaxshi qovushqoqlik va struktura hosil qiluvchi xususiyatlarni taʼminlaydi.

4. Ishlab chiqilgan yarim sanoat sxemasi eritmalarini tayyorlash, degazatsiya, polimerlanish, choʻktirish, filtrlash, yuvish va polimerni quritish bosqichlarini oʻz ichiga oladi. Moddiy balans mahsulot unumining 95 % dan yuqori va etanolning 90 % qayta tiklanishini koʻrsatib, erituvchi sarfi va oqova suv hajmini kamaytirishini taʼminladi. Xomashyo, energiya va choʻktiruvchi sarfini hisobga olgan holda ishlab chiqarish tannarxi taxminan 5 USD/kg (bilvosita xarajatlar bilan 6 USD/kg gacha) boʻlib, texnologiyaning tuproq uchun struktura hosil qiluvchilarni sanoat miqyosida olishda iqtisodiy va ekologik maqsadga muvofiqligini tasdiqlaydi.

5. Gidrolizlangan akrilamid va malein kislotasi sopolimeri asosidagi struktura hosil qiluvchi qoʻshimcha suglin tuproqda suvga chidamli agregatlar miqdorini sezilarli darajada oshirishi aniqlandi. Boshlangʻich VPA darajasi 42,3 % boʻlganda, 0,05–0,2 % konsentratsiyadagi eritmani 100–400 l/ga dozada qoʻshish VPA ni 12,8 dan 33,5 % gacha oshirdi. Eng katta taʼsir (33,5 %) 0,2 % konsentratsiya va 400 l/ga sarfda qayd etildi. Struktura samaradorligi asosan konsentratsiyaning ortishi bilan oʻsadi. Olingan maʼlumotlar sopolimerning yuqori faolligini va uni tuproqlarni eroziyadan himoya qilish hamda suv xossalarini yaxshilashda qoʻllash mumkinligini tasdiqlaydi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02.30.12.2019.К/Т35.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ ИНСТИТУТЕ  
ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

---

**ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

**КАРИМОВА ГУЛИРАНО МУХТОР КИЗИ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СТРУКТУРАНТОВ  
ПОЧВ НА ОСНОВЕ АКРИЛАМИДА И МАЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ**

**02.00.11 – Коллоидная и мембранная химия**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА  
ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2025**

**Тема диссертации доктора (PhD) философии по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистана под номером B2025.3.PhD/T5822 .**

Диссертация выполнена в Институте общей и неорганической химии.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу [www.ionx.uz](http://www.ionx.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziynet» по адресу [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Научный руководитель:**

**Кулдашева Шахноза Абдулазизовна**  
доктор химических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Якубов Юлдош Юсупбоевич**  
доктор химических наук, профессор

**Шарипова Айшагул Ибраимовна**  
Кандидат химических наук, доцент

**Ведущая организация:**

**Ташкентский химико технологический институт**

Защита состоится «9» января 2026 г. в «10:00» часов на заседании Научного совета DSc.02.30.12.2019.K/T35.01 при Институте общей и неорганической химии по адресу: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а, Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90; e-mail: [ionxanuz@mail.ru](mailto:ionxanuz@mail.ru)

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института общей и неорганической химии за №26, с которой можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре (100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а). Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90.

Автореферат диссертации разослан «25» декабря 2025 года.  
(Реестр за №26 от «25» декабря 2025 года).



**Закиров Б.С.**

Председатель научного совета по присуждению  
ученой степени, д.х.н., профессор

**Салиханова Д.С.**

Ученый секретарь научного совета по присуждению  
ученой степени, д.т.н., профессор

**Эшметов И.Д.**

Председатель научного семинара при научном совете  
по присуждению ученой степени, д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии(PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Во всем мире ухудшение структуры почвы вследствие повышения дисперсности и образования мелких фракции и эрозии приводит к снижению количества водопрочных агрегатов и водоудерживающей способности. Традиционные коагулянты-структурообразователи такие как, полиакриламиды, полиакрилаты и другие водорастворимые полимеры часто не обеспечивают одновременно высокой прочности коллоидных сетей, что ограничивает их применение в современных агротехнологиях. В связи с этим, все больше актуальность приобретают исследования по разработке новых структурообразующих сополимеров акриламида с оптимальной степенью гидролиза и молекулярной массы, высокой эффективностью при формировании водопрочных агрегатов почв.

На сегодняшний день во всем мире активно проводятся исследования по созданию технологии производства и применения перспективных структурообразующих сополимеров акриламида для повышения водопрочных агрегатов почв. В связи с этим особое внимание уделяется обоснованию научных решений, в том числе разработке методов синтеза с высокой молекулярной массой, степенью диссоциации, установлению зависимости вязкостных характеристик растворов от условий их получения, анализу молекулярно-массового распределения, изучению структурообразующей активности в суспензиях, а также оптимизации условий промышленного производства и применения полимеров.

В Республике достигнуты научные и практические результаты по получению новых материалов, в том числе структурообразующих материалов на основе местного сырья. В третьем направлении стратегии развития Нового Узбекистана, направленной на дальнейшее развитие Республики Узбекистан определены задачи в направлении «Обеспечение устойчивости национальной экономики и увеличение промышленности в общей внутренней продукции, увеличение объема производства промышленности продукции в 1,4 раза...»<sup>1</sup>. Важными аспектами являются научные исследования, направленные на разработку технологии получения структурообразующих сополимеров акриламида и малеиновой кислоты, а также на установление взаимосвязи между их характеристиками и условиями синтеза.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит осуществлению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «Стратегия действий по приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах», Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-3236 от 23 августа 2017 года «О программе ускоренного

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий дальнейшего развитию Республики Узбекистан»

развития химической промышленности на 2017-2021 годы», № ПП-3983 от 25 октября 2018 года «О мерах по ускоренному развитию химической промышленности Республики Узбекистан», а также в других нормативно-правовых документах, относящихся к данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в республике VII. «Химические технологии и нанотехнологии».

**Степень изученности проблемы.** В мире на улучшение структурных и реологических свойств сополимеров акриламида посвящены работы учёных Платэ Н. А., Литмановича А. Д., Кудрявцева Я. В., а также Laschewsky A., Rekaü E. D. и Wischerhoff E.

В нашей стране К.С. Ахмедовом была создана школа по получению эффективных структурообразующих полимерных материалов и ПАВ, представители которой: Хамраев С.С., Агзамхожаев А.А., Нарметова Г.Р., Муминов С.З., Ахмедов У.К., Абдурахимов С.А., Махкамов Р.Р., Акбаров Х.И., Эшметов И.Д., Кулдашева Ш.А., и др. внесли весомый вклад на её развитие.

Исследование охватывает синтез гидролизованных сополимеров акриламида и малеиновой кислоты при варьировании мольного соотношения мономеров, температуры и времени полимеризации, а также их применение в регулировании вязкостных и структурообразующих свойств почв. В ходе работы изучены молекулярно-массовое распределение, коллоидно-химические характеристики и реологическое поведение растворов. Остаются нерешёнными вопросы по созданию технологии получения структурантов почв.

**Связь исследования с научно-исследовательскими планами научно-исследовательского учреждения, в котором была выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках государственной программы по теме «Разработка технологии получения адсорбентов и реагентов для очистки сточных вод нефтяной, нефтегазодобывающей промышленности, а также создание прочного структурно-образующего состава реагентов в подвижных почвенно-песчаных дисперсиях» в соответствии с научно-исследовательскими планами Института общей и неорганической химии.

**Целью исследования** является разработка технологии получения структурантов почв на основе сополимеров акриламида и малеиновой кислоты.

**Задачи исследования:**

разработка и оптимизация методов радикальной сополимеризации акриламида с малеиновой кислотой с контролем мольного соотношения, температуры и продолжительности реакции для получения сополимеров с заданными молекулярно-массовыми характеристиками и степенью диссоциации;

изучение влияния условий синтеза (АА:МК, Т, t) на вязкостные свойства водных растворов сополимеров;

оценка молекулярно-массового распределения, морфологии сополимерных ассоциатов и конфигурации полимерных цепей разработанных сополимеров методами вискозиметрии, ИК-спектроскопии и микроскопического анализа;

разработка и внедрение лабораторной и полупромышленной технологии синтеза и выделения сополимера с высоким выходом ( $> 95 \%$ ) и эффективной рекуперацией растворителя ( $\geq 90 \%$ );

выполнение материального баланса и экономический расчёт себестоимости производства сополимера в полупромышленных условиях.

**Объектом исследования** являются гидролизованные сополимеры акриламида с малеиновой кислотой, синтезированные при мольных соотношениях АК:МК  $1:1 \leq 1:10$ , температурах  $40-60 \text{ }^\circ\text{C}$  и длительностях полимеризации от 1 до 6 ч, а также их водные растворы.

**Предметом исследования** являются методики синтеза и гидролиза сополимеров, их молекулярно-массовое распределение, вязкостные характеристики (вискозиметрия) и влияние этих параметров на реологические и структурообразующие свойства водных растворов.

**Методы исследования.** При выполнении диссертационной работы широко использовались современные и традиционные методы определения физико-химических (ИК-спектральные, микроскопические анализы) и коллоидно-химических (титрометрические, вискозиметрические, гель-хроматографические анализы) характеристик структурообразователей.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

установлено, что мольное соотношение акриламида и малеиновой кислоты 5:1 при температуре  $50-55 \text{ }^\circ\text{C}$  и времени реакции 4 ч обеспечивает оптимальное сочетание высокой молекулярной массы ( $M_w \approx 2\,800-3\,000$  усл. ед.) и узкого молекулярно-массового распределения ( $PDI \approx 1,5-1,7$ ), что связано с минимизацией цепных обрывов и максимальной степенью функционализации полимера;

определено, что вязкостные характеристики растворов сополимеров коррелируют с молекулярно-массовыми параметрами: наибольшие значения характеристической вязкости и выраженное псевдопластическое поведение достигаются при  $M_w \approx 2\,800-3\,000$  кДа, что свидетельствует о формировании оптимальной сетки полимерных цепей;

доказано с помощью Фурье-ИК-спектроскопии и микроскопического анализа, что интенсивность полос карбоксилатных групп ( $1400-1550 \text{ см}^{-1}$ ) прямо пропорциональна содержанию малеиновых звеньев, а также степени гидролиза и данные образцы имеют пористую, равномерно агрегированную морфологию, что обеспечивает соединение макромолекул в прочные структуры;

установлено, что внедрение гидролизованных сополимеров в концентрации  $0,1-0,2 \%$  и при расходе  $200-400$  л/га повышает долю

водопрочных агрегатов суглинка на 24–33%, что связано с адсорбцией полимерных цепей на минеральных поверхностях и укладкой их в устойчивые межагрегатные мостики;

разработана технология получения структурантов и доказано, что полупромышленная технология синтеза обеспечивает выход сополимера свыше 95 %.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны методические основы синтеза сополимеров акриламида и малеиновой кислоты;

разработана лабораторная и промышленная технология производства структурообразователей на основе сополимеров акриламида и малеиновой кислоты.

**Достоверность результатов исследования.** Научные исследования проводились с использованием современных физико-химических (ИК-спектроскопия, электронная-микроскопия) и коллоидно-химических (вискозиметрические, титриметрия), опытные испытания проводились в лабораторных и полевых условиях на базе Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан и подтверждены актами испытаний.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования обосновывается разработкой методологии направленного синтеза сополимеров акриламида с непредельными кислотами, установлением взаимосвязи состава и вязкостных свойств, а также молекулярной массой и молекулярно-массового распределения, которые послужат базой для целенаправленного создания высокоэффективных структурообразующих добавок на основе сополимеров акриламида для повышения водопрочных агрегатов почв.

Практическая значимость результатов исследований служит для разработки технологии получения и применения сополимеров – структурообразующих или агрегирующих материалов, обладающих высокими показателями вязкости растворов, и в учебном процессе подготовки магистров и бакалавров в образовательных учреждениях в сфере химии, химической технологии и экологии.

**Внедрение результатов исследования.** На основе научных результатов, полученных при синтезе сополимеров акриламида и малеиновой кислоты:

технология производства структурообразователей на основе сополимеров акриламида и акриловой кислоты включена «в перечень перспективных разработок для реализации в 2026-2027 годах» на практике ООО «GIDROGEL» (справка Министерства сельского хозяйства Республики Узбекистан от 8 октября 2025 года № 05/04-04-614). В результате появилась возможность получения сополимеров с высокой способностью к образованию структуры и себестоимостью 75 000 сумов за кг.

структурообразователи на основе сополимеров акриламида и акриловой кислоты для улучшения характеристик почв включены «в перечень

перспективных разработок для реализации в 2026-2027 годах» на практике фермерского хозяйства «Ismoiljon namuna» (справка Министерства сельского хозяйства Республики Узбекистан от 8 октября 2025 года № 05/04-04-614). В результате при оптимальной концентрации (0,2 %) и норме расхода (400 л/га) обеспечивается увеличение доли водоустойчивых агрегатов до 33,5 %.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты данного исследования обсуждались на 7 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликование результатов исследования.** По теме и материалам диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе, 5 научных статей, 4 в республиканских и 1 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объём диссертации составляет 123 страниц.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, охарактеризованы объекты и предмет исследования, отражено соответствие приоритетным направлениям науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены сведения о внедрении результатов, опубликованных работах, апробации и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние и направления развития синтеза и коллоидно-химических свойств сополимеров акриламида и малеиновой кислоты**» проанализированы методы синтеза и свойства сополимеров акриламида с непредельными кислотами, коллоидно-химические характеристики водорастворимых сополимеров, а также структура и факторы устойчивости дисперсий почв. Особое внимание уделено взаимодействию гидролизованных сополимеров с почвенными компонентами. Проведённый анализ послужил основой для формулирования цели и постановки задач настоящего диссертационного исследования.

Во второй главе «**Методология синтеза и аналитическое исследование сополимеров акриламида и малеиновой кислоты**» освещены и научно обоснованы методы синтеза сополимеров. Акриламид (Sigma-Aldrich, CAS № 79-06-1) применяли в виде препарата «х.ч.» с чистотой не ниже 99 %, плотностью 1,30 г/см<sup>3</sup>, температурой плавления 84,6 °С и температурой кипения 160 °С. Малеиновый ангидрид (Sigma-Aldrich, CAS № 108-31-6) также использовали в качестве вещества «х.ч.» с чистотой ≥99 %, плотностью 1,48 г/см<sup>3</sup>, температурой плавления 52,8 °С и температурой кипения 202 °С.

Сополимеризацию акриламида с малеиновой кислотой проводили в боросиликатном реакторе с мешалкой и системой термостатирования. В реактор загружали мономеры (АА:МК = 1:1–10:1, 10 г) и 100 мл воды, смесь дегазировали инертным газом, нагревали до 40 °С и добавляли 0,1 % персульфата калия. Полимеризацию вели при 40–60 °С, затем охлаждали, вводили NaOH и проводили щелочной гидролиз при 50 °С в течение 2 ч. Сополимер осаждали ацетоном, промывали и сушили при  $\leq 60$  °С до постоянной массы.

Анализ молекулярной массы и распределения сополимеров акриламида с малеиновой кислотой важен для оценки их реологических свойств, флокулирующей активности и стабильности коллоидных систем. Вязкостные методы остаются надёжным и доступным инструментом контроля, особенно при отсутствии хроматографического оборудования. В настоящем разделе изучались вязкостные характеристики системы АА–МК.

Вязкость разбавленных растворов (0,1–1,0 г/дл) измеряли при 25 °С на вискозиметре Уббелюде. Рассчитывали относительную, удельную, приведённую и характеристическую вязкости, по которым оценивали среднюю молекулярную массу по уравнению Марка–Куна–Хаувинка.

Для уточнения молекулярно-массовых параметров применяли гелепроникающую хроматографию (Agilent 1260 Infinity II, УФ и рефрактометрический детекторы). Образцы (2–3 мг/мл) растворяли в воде, фильтровали (0,45 мкм) и анализировали на колонках PL Aquagel OH Mixed M при 30 °С. Элюент фосфатный буфер (0,1 М, рН 7,0) с 0,02 % NaN<sub>3</sub>, скорость 0,8 мл/мин. Калибровку проводили по полиакриламидам (M<sub>w</sub> 50–2000 кДа), расчёты в ПО Agilent GPC/SEC Toolkit: определяли M<sub>n</sub>, M<sub>w</sub> и полидисперсность (M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub>).

Физико-химические свойства сополимеров акриламида с малеиновой и акриловой кислотами, а также их влияние на структурообразование в дисперсных системах, изучали с использованием следующих методов. ИК-Фурье спектроскопию проводили на спектрометре Spectrum Two (PerkinElmer) в диапазоне 350–8300 см<sup>-1</sup>, пробы готовили в виде таблеток с KBr. Анализ позволял выявить характерные полосы, подтверждающие сополимеризацию и степень гидролиза.

Кислотное число определяли потенциометрическим титрованием раствором NaOH в водно-спиртовой среде, выражая результаты в мг KOH/г. Морфология исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии (JEOL JSM IT200) после напыления углеродом или золотом; изображения использовали для оценки текстуры, агрегации и фазового распределения.

Элементный состав (C, H, N, S) анализировали на приборе FlashSmart CHNS/O, что позволяло рассчитать степень гидролиза и подтвердить стехиометрию сополимера.

Количественное определение водопрочных агрегатов служит основным методом оценки структурообразующей эффективности полимерных добавок, позволяя объективно сравнивать различные типы и концентрации материалов

для стабилизации почв. Метод влажного просеивания отражает не только прочность агрегатов, но и степень формирования полимером устойчивой внутренней структуры почвы, что критично для агротехнических и инженерно-геологических применений.

В исследовании использовали образцы верхнего горизонта (0–20 см), очищенные от растительных остатков и просеянные через сито 8 мм. Для анализа отбирали агрегаты размером 1–5 мм, увлажняли при ~50% относительной влажности, затем сушили при 40 °С до постоянной массы ( $M_0$ ).

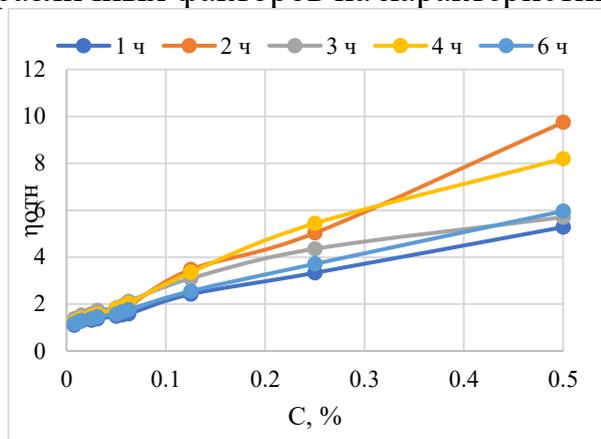
Прочность агрегатов оценивали методом влажного просеивания: навески помещали на сито (2,0 мм), заливали деионизированной водой и подвергали вертикальным колебаниям (30 циклов/мин) в течение 10 мин. Полученные фракции, удержанные на ситах 2,0; 1,0 и 0,25 мм, промывали, сушили при 40 °С и взвешивали ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ). Фракции < 0,25 мм также учитывали при расчёте выхода.

Количество водопрочных агрегатов (WSA) вычисляли по формуле:

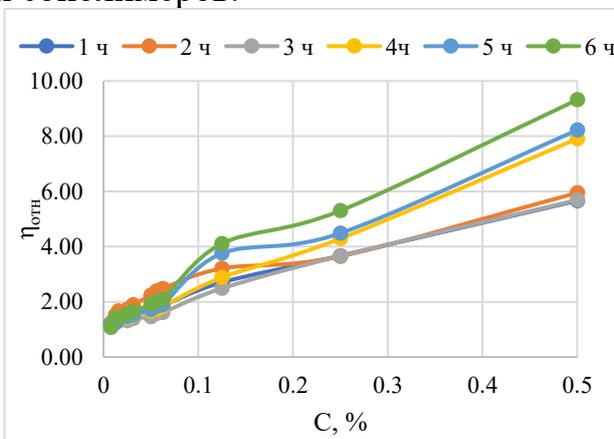
$$W_{\%} = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{M_0} * 100,$$

где,  $M_0$  – исходная сухая масса агрегатов, а  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  – массы фракций, удержанных на ситах 2,0; 1,0 и 0,25 мм соответственно.

В третьей главе «Исследование влияния условий сополимеризации на структуру и вязкостные характеристики сополимеров акриламида и акриловой кислоты» приведены результаты исследования влияния различных факторов на характеристики сополимеров.



**Рис. 1.** Изменение относительной вязкости растворов сополимеров, синтезированных при соотношении АА/МК=10/1 при 50°С при различных продолжительностях сополимеризации.



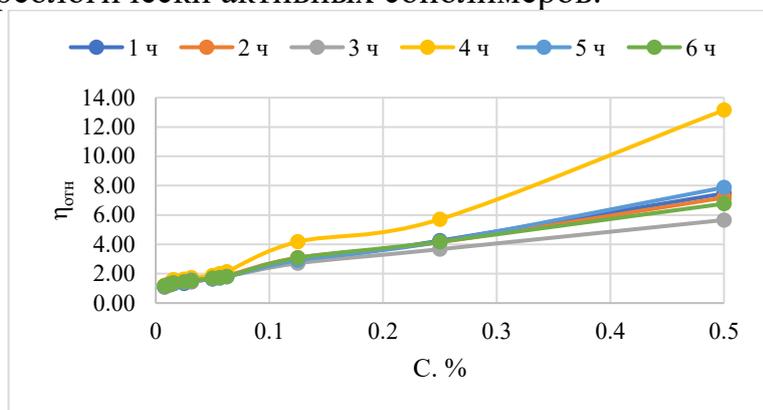
**Рис. 2.** Изменение относительной вязкости растворов сополимеров, синтезированных при соотношении АА/МК=10/1 при 55°С при различных продолжительностях сополимеризации.

Изменение относительной вязкости ( $\eta_{отн}$ ) растворов сополимера акриламида и малеиновой кислоты отражает динамику роста и деградации макромолекул при различной продолжительности синтеза. В первые 2 ч преобладает наращивание цепей, что приводит к максимальной  $\eta_{отн}$  во всём

диапазоне концентраций. При 3–4 ч рост частично продолжается, но появляются признаки цепного переноса и начальной деградации. После 5–6 ч усиливаются деструктивные процессы и кросслинкинг, снижая вязкость.

В разбавленных растворах ( $C \leq 0,015\%$ ) влияние молекулярной массы минимально, и  $\eta_{\text{отн}}$  почти не различается. В диапазоне 0,05–0,25 % различия по времени синтеза наиболее выражены за счёт гидродинамических взаимодействий и образования ассоциатов. Оптимальное время полимеризации 3–4 ч.

При повышении температуры с 50 до 55 °С полимеризация ускоряется, но формирование ассоциативных структур задерживается. На 50 °С максимум  $\eta_{\text{отн}}$  ( $\approx 9$ ) достигается за 2 ч, тогда как при 55 °С лишь к 4–6 ч (до 9,3), благодаря накоплению массы и ветвлению. В разбавленных растворах температурный эффект менее выражен, но также наблюдается: при 50 °С  $\eta_{\text{отн}}$  растёт до 1,38, при 55 °С до 1,45. Таким образом, повышение температуры сдвигает оптимальное время синтеза, требующее учёта при разработке реологически активных сополимеров.

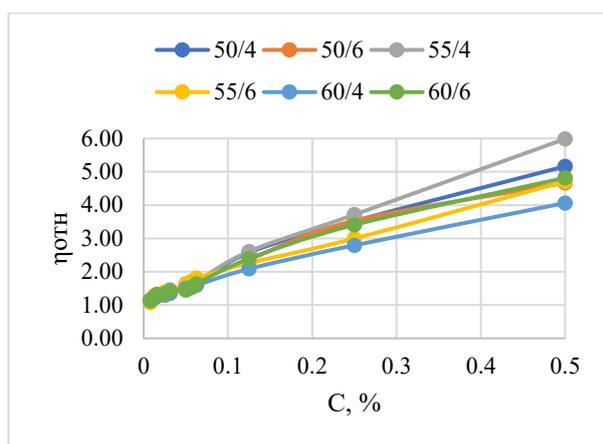


**Рис. 3. Изменение относительной вязкости растворов сополимеров, синтезированных при соотношении АА/МК=10/1 при 60 °С при различных продолжительностях сополимеризации.**

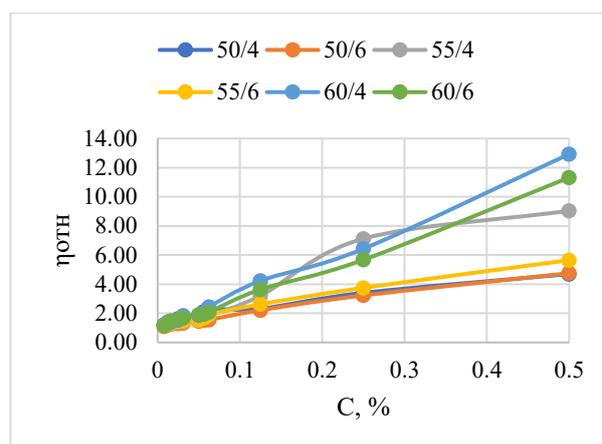
При полимеризации при 60 °С в первые 2 ч высокая скорость распада персульфата калия обеспечивает быстрый рост цепей:  $\eta_{\text{отн}}$  при  $C = 0,5\%$  достигает 7,47 (1 ч) и 7,19 (2 ч). На 3 ч наблюдается снижение до 5,66 из-за цепного переноса и рекомбинации радикалов. На 4 ч удлинение и ветвление цепей формирует плотную ассоциативную структуру,  $\eta_{\text{отн}}$  достигает максимума 13,15. После 5–6 ч преобладают деградация и скрытое сшивание,  $\eta_{\text{отн}}$  снижается до 7,88 и 6,77 соответственно.

В разбавленных растворах ( $C \leq 0,015\%$ )  $\eta_{\text{отн}}$  изменяется умеренно: от 1,18–1,32 (1 ч) до 1,21–1,45 (4 ч) с незначительным снижением после, что отражает слабое гидродинамическое влияние макромолекул при низких концентрациях.

Мольное соотношение АА:МК существенно влияет на молекулярную структуру и вязкость раствора. Оптимальные характеристики достигаются при соотношении  $\sim 7:1$ , при котором формируются длинные цепи с высокой анионностью:  $\eta_{\text{отн}}$  достигает  $\sim 15$  при 0,5 %. При снижении АА:МК до 3:1 вязкость падает до 5–6 из-за образования коротких МК-олигомеров, уменьшающих среднюю молекулярную массу.



**Рис. 4. Зависимость относительной вязкости от концентрации сополимера АК/МК=3/1 при различной температуре и продолжительности процесса сополимеризации.**



**Рис. 5. Зависимость относительной вязкости от концентрации сополимера АК/МК=5/1 при различной температуре и продолжительности процесса сополимеризации.**

При избытке АА (например, 10:1) молекулы остаются длинными, но уменьшается доля карбоксильных групп, что снижает анионность и вязкость. Оптимальный диапазон — АА:МК  $\approx$  7:1–8:1, обеспечивающий высокую молекулярную массу, содержание ионных групп и выход продукта (~98 %).

Таким образом, умеренное содержание кислоты (12–20 %) критично для достижения максимальной вязкости. Избыток МК приводит к укорочению цепей, а избыток АА — к снижению ионной насыщенности. Эти закономерности подтверждаются экспериментально и данными литературы.

**Таблица 1.**

**Выход сополимеризации при разных температурах и продолжительности (4 и 6 ч) реакции, %**

| Соотношение<br>АА/МК | Температура, °С |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                      | 50              |     | 55  |     | 60  |     |
|                      | 4 ч             | 6 ч | 4 ч | 6 ч | 4 ч | 6 ч |
| 1 : 1                | 84              | 82  | 83  | 86  | 83  | 81  |
| 3 : 1                | 82              | 88  | 90  | 92  | 94  | 95  |
| 5 : 1                | 92              | 94  | 96  | 96  | 98  | 98  |
| 7 : 1                | 95              | 96  | 98  | 98  | 99  | 99  |
| 10 : 1               | 94              | 95  | 97  | 97  | 99  | 99  |

При АА/МК = 1:1 выход остаётся низким (81–86 %) из-за кислой среды, тормозящей рост цепей. Повышение температуры и времени почти не влияет на конверсию без предварительной нейтрализации.

При АА/МК = 3:1 увеличение температуры с 50 до 60 °С и времени до 6 ч повышает выход до 94–95 % за счёт ускоренного распада инициатора и удлинения цепей. При АА/МК = 5:1–10:1 уже при 50 °С и 4 ч достигается 92–94 %; при 55 °С выход увеличивается до 96–97 %, а при 60 °С и 6 ч до 98–99 %, что указывает на почти полную конверсию мономера.

Как можно увидеть из данных табл. 2 олекулярная масса сополимеров

АА/МК (10:1) зависит от времени и температуры полимеризации. При увеличении времени  $M_w$  сначала возрастает, достигая максимума, затем снижается. Оптимальный результат достигается при 55 °С:  $M_w$  до ~4674 (2 ч), выше, чем при 50 °С (~4311 на 3 ч) и 60 °С (~2658 на 4 ч). Повышение температуры ускоряет полимеризацию, но также усиливает обрывы цепей, особенно при 60 °С, где преобладает диспропорционирование и снижается длина цепей (например,  $M_w \approx 1824$  на 1 ч).

**Таблица 2.**

**Влияние времени и температуры полимеризации на молекулярно-массовые (кДа) характеристики сополимеров АА:МК (10:1)**

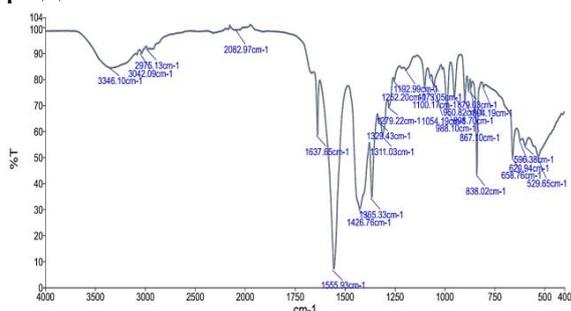
| Продолжительность, ч | Температура, °С |        |        |
|----------------------|-----------------|--------|--------|
|                      | 50              | 55     | 60     |
| 1                    | 2380,5          | 3164,8 | 1823,8 |
| 2                    | 3620,7          | 4674,1 | 2468,5 |
| 3                    | 4311,1          | 4131,2 | 2494,1 |
| 4                    | 3292,8          | 2202,3 | 2657,8 |
| 5                    | 1837,8          | 2015,4 | 2185,6 |
| 6                    | 2039,4          | 3163,4 | 2317,4 |

При 50 °С скорость роста цепей выше, чем обрывов, но полимеризация идёт медленнее. На 55 °С баланс оптимален: радикалы активны, а деструкция незначительна. При 60 °С высокая концентрация радикалов ускоряет потребление мономера, но вызывает преждевременные обрывы, что снижает  $M_w$ .

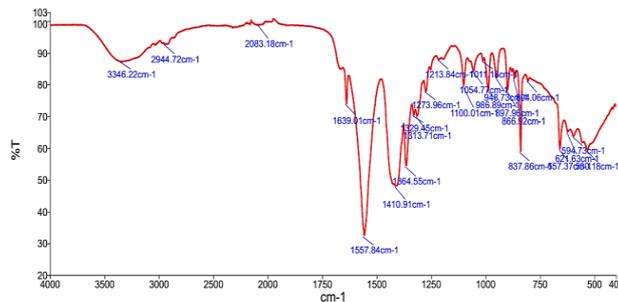
Временной профиль  $M_w$  нелинеен: сначала рост (за счёт автоускорения и снижения обрывов), затем спад (из-за истощения мономера, побочных реакций и термической деструкции). Например, при 55 °С  $M_w$  снижается с ~4674 (2 ч) до ~2015 (5 ч); при 50 °С — с ~4311 (3 ч) до ~1838 (5 ч). Частичная гидролизная и окислительная деструкция также способствует снижению массы.

Небольшой вторичный рост  $M_w$  на 6 ч (например, при 50 °С с ~1838 до ~2039) может быть связан с поздней рекомбинацией радикалов или полимеризацией остаточного мономера. Однако этот рост не компенсирует общее снижение: превышение оптимального времени приводит к деградации и снижению  $M_w$ .

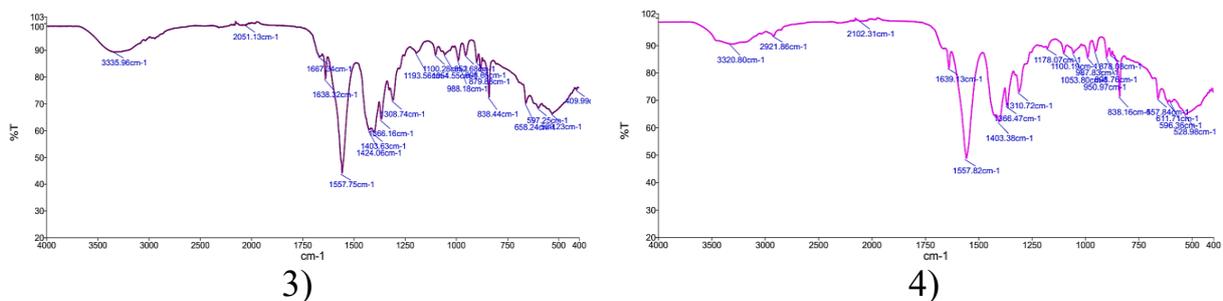
Для наглядного анализа влияния соотношения мономеров, температуры и времени полимеризации приведены ИК-Фурье спектры образцов, полученных при молярном соотношении АА:МК 5:1–7:1, температурах 50–55 °С и продолжительности синтеза 4–6 часов.



1)



2)



**Рис.6.ИК-спектры образцов при соотношении АА/МК-температуре-продолжительности процесса:1) 7/1-50-6; 2) 5/1-50-6; 3) 7/1-50-4; 4)5/1-50-4.**

ИК-спектры сополимеров АА/МК демонстрируют широкую полосу  $\approx 3300$ – $3350\text{ см}^{-1}$  (водородные связи N–H с O–H/COOH), амидные полосы I и II ( $\approx 1650$  и  $\approx 1550\text{ см}^{-1}$ ) и сигналы  $\text{COO}^-$  ( $\approx 1400$  и  $>1550\text{ см}^{-1}$ ), указывающие на сополимеризацию и частичный гидролиз.

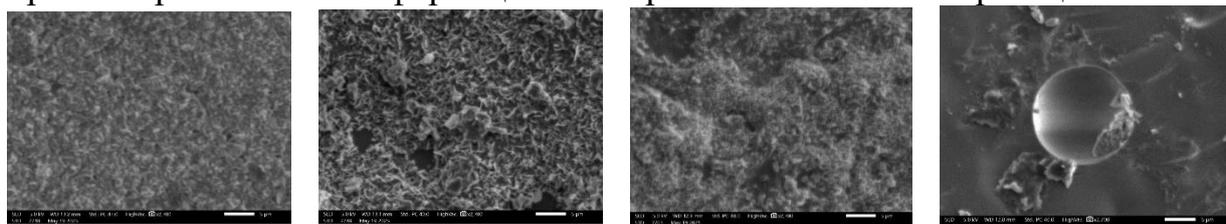
При соотношении 5:1 усиливаются полосы  $\text{COO}^-$  по сравнению с 7:1, отражая большую карбоксильную функционализацию и эффективность ионизации. Более длительная полимеризация (6 ч) усиливает амидные полосы, смещает N–H/O–H в низкочастотную область и ослабляет сигналы винильных остатков.

Поглощения  $\approx 2050$ – $2100\text{ см}^{-1}$  связаны с обертонами амидных колебаний или следовыми примесями. Зона  $1000$ – $1200\text{ см}^{-1}$  (C–N, C–O) варьирует в зависимости от степени гидролиза и конформации цепей, усиливаясь при 5:1 и 6 ч. Таким образом, при 5:1 и 6 ч возрастает доля  $\text{COO}^-$  и межмолекулярные взаимодействия, в то время как при 7:1 доминируют амидные фрагменты. Эти различия определяют коллоидные и реологические свойства сополимеров.

На ИК-спектрах при  $55\text{ }^\circ\text{C}$  различия обусловлены мольным соотношением и временем полимеризации. При АА/МК = 5:1 усиливаются полосы карбоксилатов ( $\sim 1550$  и  $\sim 1400\text{ см}^{-1}$ ) и расширяется область  $\sim 3300\text{ см}^{-1}$ , отражая более высокую степень функционализации и водородной ассоциации по сравнению с 7:1, где доминируют амидные полосы.

При 5:1 увеличение времени с 4 до 6 ч приводит к ослаблению амидных сигналов, усилению C=O-полос и широкой O–H/N–H области, что связано с ростом доли концевых групп, частичной деструкцией и уменьшением Mw. При 7:1 спектры при 4 и 6 ч почти идентичны, что указывает на стабильность цепей и меньшую чувствительность к обрывам. Слабая выраженность карбоксилатных полос указывает на ограниченное включение МК.

Незначительные вариации в областях  $\sim 2050$ – $2110$  и  $1000$ – $1100\text{ см}^{-1}$  отражают различия в конформации и завершённости сополимеризации.



**Рис. 7. Микроскопические снимки образцов: 1) 1) 7/1-50-4; 2) 7/1-55-4; 3) 7/1-50-6; 4) 7/1-55-6.**

Микрофотографии (рис. 7) показывают морфологические изменения сополимера АА:МК = 7:1 в зависимости от температуры и времени. При 50 °С, 4 ч (образец 1) структура тонковолокнистая и пористая, с выраженными межцепными ассоциациями. При 55 °С, 4 ч (образец 2) наблюдается грубоволокнистая, более плотная сеть, которая является результатом усиленных межмолекулярных взаимодействий.

При 50 °С, 6 ч (образец 3) структура уплотняется, появляются области коалесценции, отражающие перераспределение и частичную релаксацию цепей. При 55 °С, 6 ч (образец 4) формируется плотная матрица с крупным сферическим доменом, который является возможным признаком локального фазового разделения или образования микрогеля.

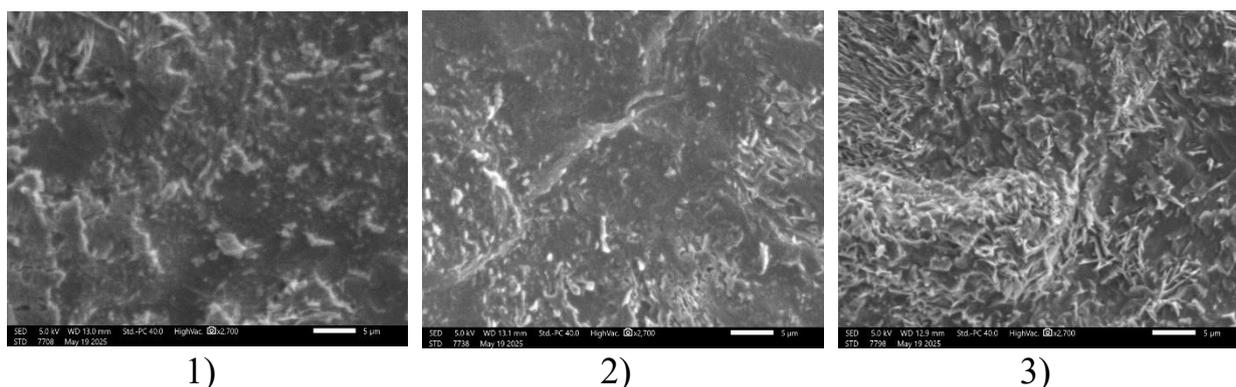


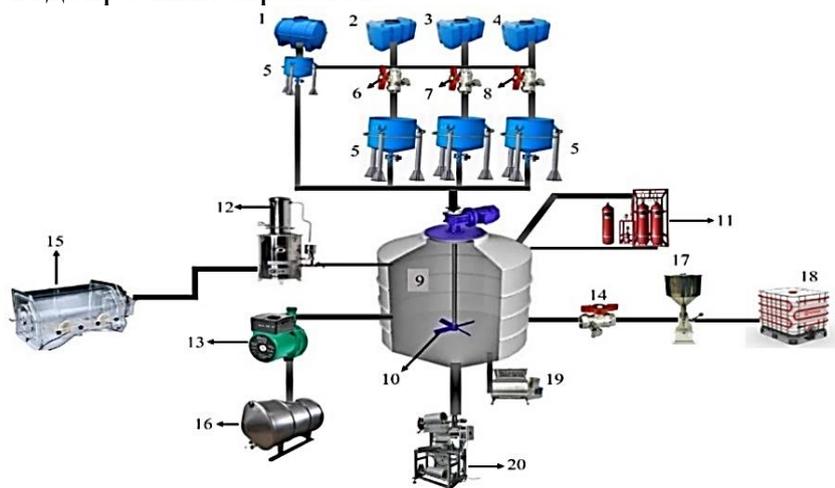
Рис. 8. Микроскопические снимки образцов: 1) 1) 5/1-50-4; 2) 5/1-55-4; 3) 5/1-60-4.

На микрофотографиях (рис. 8) видно, как изменение температуры при фиксированном соотношении АА:МК = 5:1 и постоянной продолжительности (4 ч) отражается на микроструктуре сополимера. Образец, полученный при 50 °С, демонстрирует относительно однородную, тонковолокнистую сеть с равномерным распределением полимерных сегментов, такая морфология характерна для сополимеров с достаточной длиной цепей и умеренной подвижностью, когда межцепные взаимодействия формируются, но не приводят к выраженной локальной агрегации. При повышении температуры до 55 °С (образец 2) наблюдается более плотная и связная ассоциированная структура, что коррелирует с наибольшей средневзвешенной молекулярной массой. Дальнейшее повышение температуры до 60 °С приводит к заметному изменению морфологии, проявляется усиленное формирование удлиненных, ориентированных волокнистых или «игольчатых» агрегатов и локальных кластеров.

В четвертой главе «Разработка технологии получения сополимеров акриламида и малеиновой кислоты и исследование изменения водопрочных агрегатов почвы под воздействием разработанных структурообразователей» приводятся результаты исследований по разработке технологии производства структурообразователей.

Технология производства гидролизованых сополимеров акриламида и малеиновой кислоты и её основные этапы включают: подготовка и дозирование мономеров и инициатора, радикальная сополимеризация в инертной атмосфере, щелочной гидролиз полученного полимера, его выделение и очистка осаждением и промывкой, сушка и измельчение сухого продукта, а также

последующая подготовка рабочих растворов для внесения в почву и оценка образования водопрочных агрегатов.



**Рис. 9. Технологическая схема производства структуранта на основе акриламида и малеиновой кислоты:**

1. Ёмкость для воды; 2. Ёмкость для акриламида; 3. Ёмкость для малеиновой кислоты; 4. Ёмкость для NaOH; 5. Дозаторы; 6. Смеситель для акриламида; 7. Смеситель для малеиновой кислоты; 8. Смеситель для NaOH; 9. Реактор с мешалкой; 10. Система подачи инертного газа; 11. Обратный холодильник; 12. Насосы для подачи инертного газа; 13. Насос для удаления воздуха; 14. Кран для слива готового продукта; 15. Ёмкость для собранного воздуха и инертного газа; 16. Ёмкость для охлаждения продукта; 17. Дозатор для подачи в упаковочный аппарат; 18. Упаковочный аппарат; 19. Нагреватель для регулировки температуры; 20. Нагревательная рубашка.

Технологическая линия (рис. 9) начинается с подготовки растворов в ёмкостях 1–4: вода из ёмкости 1 подаётся через дозатор 5 в смеситель 6, где растворяют акриламид из ёмкости 2; аналогично готовят раствор МК (смеситель 7, ёмкость 3) и щёлочь NaOH (смеситель 8, ёмкость 4). Потоки регулируются насосами и расходомерами.

Смесь поступает в реактор 9 с мешалкой и рубашкой 20. Через систему 10–13 удаляют воздух и создают атмосферу  $N_2$ : откачка насосом 13, подача  $N_2$  насосами 12, сбор избытка в ловушке 15.

После установки  $50\text{--}55\text{ }^\circ\text{C}$  вводят инициатор, начинается радикальная полимеризация. Температура поддерживается с помощью рубашки и охлаждения; пар конденсируется холодильником 11 и возвращается в реактор.

Через 4 ч реакцию завершают: охлаждают до  $\sim 30\text{ }^\circ\text{C}$ , отключают  $N_2$ , подача воздуха ингибирует остаточные радикалы. Раствор через кран 14 поступает в ёмкость 16 для охлаждения и сгущения, затем насосом — на гидролиз или осаждение.

При гидролизе в ёмкость 16 добавляют щёлочь, поддерживают  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , затем продукт направляют на осаждение/промывку или фасовку (через ёмкость 17 и аппарат 18).

Система автоматизирована: дозаторы, термодары, нагреватель 19, клапаны газа и насосы регулируют параметры, мешалка с частотным приводом поддерживает нужную скорость. Линия обеспечивает контроль качества на всех стадиях — от подготовки раствора до фасовки продукта.

В качестве основы принят выпуск 100 кг сухого сополимера. При выходе 95 % от теоретического количества мономеров необходимо загрузить 105,3 кг суммарных мономеров. На этой основе рассчитывается материальный баланс на одну загрузку полупромышленного масштаба.

В состав входящих потоков входят: АА 5/6 от массы мономеров, что составляет примерно 87,75 кг; МК 1/6 от массы мономеров, около 17,55 кг; инициатор (персульфат аммония, 0,5 % от массы мономеров) 0,53 кг. Для приготовления растворов используется около 571,2 кг деионизированной воды (15 % концентрация раствора). Для дегазации и создания инертной атмосферы используется примерно 0,5 м<sup>3</sup> азота. Осаждение осуществляется этанолом в десятикратном избытке по массе полимера 1000 кг.

К выходящим потокам относятся: целевой сухой сополимер 100 кг; фильтрат после осаждения, содержащий 1000 кг этанола, 571,2 кг воды и около 5,3 кг растворённых примесей (остатки мономеров и соли инициатора); промывочные растворы 100 кг этанола (две промывки по 0,5 кг/кг полимера). Из общего объёма этанола восстанавливается 90 % около 990 кг возвращаются в цикл, оставшиеся 110 кг (10 %) отправляются на очистку или утилизацию.

Сточные воды включают водную фазу после рекуперации этанола — 681,2 кг, содержащую остатки мономеров и соли (5,3 кг). Дополнительно учитываются технологические потери — около 2 кг полимера теряется в виде пыли и прилипания к оборудованию.

Материальный баланс показывает, что для получения 100 кг сухого сополимера при выходе 95 % требуется 105,3 кг мономеров (87,8 кг акриламида и 17,6 кг малеиновой кислоты) и менее 6 л воды на килограмм продукта (концентрация ≈15 %). Инициатор (0,53 кг персульфата аммония) обеспечивает эффективную полимеризацию при минимальном расходе.

Основной объём приходится на этанол (≈1100 кг), из которого рекуперировано до 990 кг (90 %), что снижает потребление растворителя и затраты на утилизацию. Оставшиеся 110 кг спирта и ≈681 кг сточных вод, содержащих ≈5,3 кг растворённых примесей, подлежат стандартной очистке и регенерации. Потери полимера составляют ≈2 кг (2 %), что указывает на высокий уровень рекуперации. Процесс характеризуется высокой степенью превращения мономеров, эффективным использованием растворителей и контролируемым образованием отходов, обеспечивая экономическую и экологическую целесообразность полупромышленного производства.

Приблизительный расчёт стоимости производства 1 кг сухого сополимера выполнен на основе массового расхода основных компонентов и цен, характерных для лабораторных (полупромышленных) масштабов:

Акриламид (87,75 кг на 100 кг продукта): Цена ≈ 3 USD/кг; 87,75 кг × 3 USD/кг = 263,25 USD; Малеиновая кислота (17,55 кг): Цена ≈ 4 USD/кг; 17,55 кг × 4 USD/кг = 70,20 USD; Персульфат аммония (0,53 кг): Цена ≈ 5 USD/кг; 0,53 кг × 5 USD/кг = 2,65 USD; Вода (571,2 кг): Цена ≈ 0,001 USD/кг; 571,2 кг × 0,001 USD/кг ≈ 0,57 USD; Этанол (потери 10 % от 1 100 кг = 110 кг): Цена ≈ 1 USD/кг; 110 кг × 1 USD/кг = 110 USD;

Энергия и эксплуатационные расходы (нагрев, мешалка, насосы, осушители, утилизация стоков и т. д.) оценочно 0,5 USD на 1 кг продукта 100 кг × 0,5 USD/кг = 50 USD;

Суммарные переменные затраты на 100 кг готового продукта составляют:  
263,25 + 70,20 + 2,65 + 0,57 + 110 + 50 = **496,67 USD.**

Соответственно, стоимость 1 кг сополимера при текущих допущениях  $\approx 496,67 \text{ USD} / 100 \text{ кг} = 4,97 \text{ USD/кг}$ .

Добавление надбавок на косвенные расходы (амортизация оборудования, административные затраты и прочее) порядка 20 % даёт около 6 USD/кг. Такая оценка показывает, что производство гидролизованного сополимера акриламида–малеиновой кислоты даже в полупромышленных масштабах остаётся экономически оправданным для применения в качестве эффективного структуранта почв и других дисперсных систем.

Ниже приведены данные, демонстрирующие влияния концентрации раствора сополимера (АА/МК = 5:1) и расхода этого раствора на содержание водопрочных агрегатов (WSA) в образцах почвы с начальными значениями водопрочных агрегатов (ВПА) 42,3%.

Таблица 3.

**Изменения ВПА под воздействием структуранта**

| Концентрация, % (м/м) | Расход раствора, л/га | ВПА, % | $\Delta$ ВПА, п.п. |
|-----------------------|-----------------------|--------|--------------------|
| 0,05                  | 100                   | 55,1   | +12,8              |
| 0,05                  | 200                   | 59,6   | +17,3              |
| 0,05                  | 400                   | 62,8   | +20,5              |
| 0,1                   | 100                   | 61,4   | +19,1              |
| 0,1                   | 200                   | 66,7   | +24,4              |
| 0,1                   | 400                   | 70,2   | +27,9              |
| 0,2                   | 100                   | 64,9   | +22,6              |
| 0,2                   | 200                   | 72,3   | +30,0              |
| 0,2                   | 400                   | 75,8   | +33,5              |

В табл. 3 показано влияние концентрации и расхода полимерного раствора на долю водопрочных агрегатов (ВПА) суглинистой почвы. Исходное значение ВПА составляло 42,3 %. При концентрации 0,05 % и расходе 100–400 л/га прирост ВПА составил 12,8–20,5 п. п., что подтверждает дозозависимый эффект.

При 0,1 % ВПА увеличивалась до 27,9 п. п., а при 0,2 % до 33,5 п. п., что связано с усилением межагрегатных взаимодействий и более плотным покрытием частиц. Эффективность применения полимера возрастает преимущественно с ростом концентрации, а не расхода.

Максимальные значения ВПА достигаются при 0,2 % и 400 л/га, прирост превышает 30 п. п. Результаты подтверждают высокую эффективность сополимера АА/МК в укреплении структуры почвы и его перспективность для защиты от эрозии и улучшения водных свойств.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. При оптимизации параметров сополимеризации акриламида и малеиновой кислоты было выявлено, что соотношение 5:1 при температуре 50–55 °С и продолжительности реакции 4 ч обеспечивает наиболее высокий средневзвешенный молекулярный вес ( $M_w \approx 2800\text{--}3000$  усл. ед.) и узкое молекулярно-массовое распределение ( $PDI \approx 1,5\text{--}1,7$ ). В этих условиях конверсия мономеров превышает 95 %. При уменьшении доли малеиновой кислоты ниже 5:1 увеличивается частота прекращения цепей вследствие диспропорционирования, а при её избытке (1:1–3:1) наблюдается усиленный

разрыв макромолекул и падение вязкостных характеристик.

2. Установлено, что вязкостные измерения разбавленных водных растворов сополимера при различных параметрах синтеза демонстрируют прямую зависимость между молекулярной массой полимера и его характеристической вязкостью. Для образцов, полученных при оптимальных условиях (АА:МК = 5:1, 50–55 °С, 4 ч),  $[\eta]$  достигало максимальных значений, что свидетельствует о формировании длинных макромолекулярных цепей с развитой ассоциативной сетью. Исследование зависимости вязкости от концентрации выявило псевдопластическое поведение растворов, характерное для ассоциированных полимеров, и определило оптимальный диапазон концентраций 0,1–0,2 % (м/м) для сочетания текучести и структурообразующей способности.

3. Показано, что при оптимальных условиях (АА:МК = 5:1, 50 °С, 4 ч) средневзвешенная молекулярная масса сополимера достигает 2 800–3 000, а числовая 1 800–2 000, что соответствует  $PDI \approx 1,5–1,7$ . Повышение температуры выше 55 °С или избыток малеиновой кислоты снижает  $M_w$  из-за участившихся цепных обрывов, тогда как при мягком режиме достигается максимальная длина макромолекул и узкое распределение, что обеспечивает наилучшие вязкостные и структурообразующие характеристики.

4. Разработанная полупромышленная схема включает стадии приготовления растворов, дегазации, полимеризации, осаждения, фильтрации, промывки и сушки полимера. Материальный баланс показал выход продукта свыше 95 % и рекуперацию 90 % этанола, что снижает расход растворителя и объём сточных вод. Расчёт себестоимости с учётом затрат на сырьё, энергию и осадитель составил около 5 USD/кг (до 6 USD/кг с учётом косвенных расходов), подтверждая экономическую и экологическую целесообразность технологии для промышленного получения почвенных структурантов.

5. Установлено, что структурообразователь на основе гидролизованного сополимера акриламида и малеиновой кислоты существенно повышает содержание водопрочных агрегатов в суглинистой почве. При исходном уровне ВПА 42,3 % внесение раствора концентрацией 0,05–0,2 % в дозах 100–400 л/га обеспечивало прирост ВПА от 12,8 до 33,5 п. п. Наибольший эффект (33,5 п. п.) получен при 0,2 % и 400 л/га. Эффективность структуры возрастает преимущественно с увеличением концентрации. Полученные данные подтверждают высокую активность сополимера и его применимость для защиты почв от эрозии и улучшения водных свойств.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.02.30.12.2019.K/T.35.01 AT INSTITUTE OF GENERAL AND  
INORGANIC CHEMISTRY**

---

**INSTITUTE OF GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY**

**KARIMOVA GULIRANO MUXTOR KIZI**

**THE DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR PRODUCING  
SOIL STRUCTURING AGENTS BASED ON COPOLYMERS OF  
ACRYLAMIDE AND MALEIC ACID**

**02.00.11 – Colloid and membrane chemistry**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF  
PHILOSOPHY(PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent -2025**

**The topic of the Doctor of Philosophy (PhD) dissertation in technical sciences has been registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2025.3.PhD/T5822**

Dissertation work completed at the Institute of general and inorganic chemistry.

Abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) posted on the web site of «ZiyoNet» to the address [www.ziyo.net/uz](http://www.ziyo.net/uz).

**Academic Supervisor:**

**Kuldasheva Shahnoza Abdulazizovna**  
doctor of chemical sciences, Professor

**Official opponents:**

**Yakubov Yo'ldosh Yusupboyevich**  
doctor of chemical sciences, Professor

**Sharipova Ayshagul Ibraimovna**  
candidate of chemical science, Associate Professor

**Leading organization:**

**Tashkent Institute of Chemical Technology**

The defense will take place on «9» January 2026 at 10:00 o'clock at the meeting of on-time scientific Council No.DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 at General and Inorganic Chemistry Institute (Address: 100170, Tashkent city, Mirzo Ulug'bek district, Mirzo Ulug'bek street, 77-a. Tel.: (+99 871) 262-56-60, fax: (+99 871) 262-79-90, e-mail: [ionxanruz@mail.ru](mailto:ionxanruz@mail.ru)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the General and Inorganic Chemistry, (is registered under № 26). Address: 100170, Tashkent city, Mirzo Ulug'bek street, 77-a. Tel./fax: (+99871) 262-56-60, (+99871) 262-79-90).

Abstract of dissertation sent out on «25» December 2025.  
(mailing report №26 from «25» December 2025.)



*[Handwritten signature]*

**B.S.Zakirov**  
Chairman of the scientific Council  
awarding scientific degrees,  
doctor of chemical sciences, professor

*[Handwritten signature]*

**D.S.Salikhanova**  
Scientific secretary of the scientific  
Council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

*[Handwritten signature]*

**I.D.Eshmetov**  
Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific Council  
on the award of a scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the research work** is to develop a technology for producing soil structuring agents based on acrylamide–maleic acid copolymers.

**The object of the research** is the synthesis and hydrolysis methods of copolymers, their molecular weight distribution, viscosity characteristics (viscometry), and the influence of these parameters on the rheological and structure-forming properties of aqueous solutions.

**The scientific novelty of the research work is as follows:**

It has been established that the molar ratio of acrylamide to maleic acid of 5:1 at 50–55 °C and a reaction time of 4 h ensures an optimal combination of high average molecular weight ( $M_w \approx 2,800\text{--}3,000$  a.u.) and a narrow molecular weight distribution ( $PDI \approx 1.5\text{--}1.7$ ), which is associated with the minimization of chain terminations and the maximum degree of polymer functionalization;

It has been determined that the viscosity characteristics of copolymer solutions correlate with their molecular weight parameters: the highest values of intrinsic viscosity  $[\eta]$  and pronounced pseudoplastic behavior are achieved at  $M_w \approx 2,800\text{--}3,000$  a.u., indicating the formation of an optimal associative network of polymer chains;

Fourier-transform IR spectroscopy has demonstrated that the intensity of carboxylate bands ( $1,400\text{--}1,550\text{ cm}^{-1}$ ) is directly proportional to the content of maleic units and the degree of hydrolysis, while microscopic analysis has shown that under optimal synthesis conditions the samples exhibit a porous, uniformly aggregated morphology that promotes the connection of macromolecules into stable structures;

It has been established that the introduction of hydrolyzed copolymers at concentrations of 0.1–0.2% w/w and application rates of 200–400 L/ha increases the share of water-stable aggregates in loamy soil by 24–33 percentage points, which is attributed to the adsorption of polymer chains on mineral surfaces and their arrangement into stable inter-aggregate bridges;

A production technology for soil structuring agents has been developed, and it has been shown that the semi-industrial synthesis provides a copolymer yield above 95% and recovery of 90% of the alcohol precipitant, confirming the high economic and environmental efficiency of the process.

**Implementation of research results:** Based on the scientific results obtained in the process of synthesizing copolymers of acrylamide and maleic acid: The technology for producing structure-forming agents based on copolymers of acrylamide and acrylic acid has been included in the list of promising developments to be implemented in practice during 2026–2027 by "GIDROGEL" LLC and the "Ismoiljon Namuna" farm (according to the Information Note No. 05/04-04-614 dated October 8, 2025, from the Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan). As a result, it became possible to obtain copolymers with a high structure-forming capacity at a cost of 75,000 UZS/kg.

The structure-forming agents developed from copolymers of acrylamide and maleic acid to improve the water resistance indicators of soil have also been included in the list of promising developments to be implemented in the practice of the Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan during 2026–2027 (according to Information Note No. 05/04-04-614 dated October 8, 2025, from the Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan). As a result, with an optimal concentration (0.2%) and application rate (400 L/ha), the share of water-resistant aggregates can be increased up to 33.5%.

**The structure and volume of the thesis.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of used literature, notations and appendices. The volume of the dissertation is 123 pages.

**E'LON QILINGAN RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (I часть; part I)**

1.Sh.A.Kuldasheva, Karimova G.M., A.B.Abdikamalova, I.D.Eshmetov, N.Z.Adizova R.K.Dauletbayeva. Suvda eruvchan polielektrolit – tuproqlar strukturantini olish usuli, Foydali model, O'zbekiston respublikasi adliya vazirligi. № FAP 2766 № FAP 20230330 16.09.23.

2.Dauletbaeva R.K., Karimova G.M., Adizova N.Z., Abdikamalova A.B., Kuldasheva Sh.A., Allamuratova A.S.. Problems of Regulation of Structure Formation in Soil Using Water-Soluble Polymers // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 10, Issue 8, August 2023. Pp. 20996-21001(05.00.00.№8).

3.Kuldasheva Sh.A., Abdikamalova A.B., Niyazova D.B., Dauletbaeva R.K., Karimova G.M., Usmonova A.G.. Main Physicochemical and Structural Characteristics of Synthesized Polyelectrolytes // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 11, Issue 5, May 2024. Pp. 21850-21855 (05.00.00.№8).

4.Кулдашева Ш.А., Абдикамалова А.Б., Ниязова Д.Б., Даулетбаева Р.К., Каримова Г.М., Усманова А.Г.. Изучение структурообразующие характеристики гидролизированных пав // Central asian food engineering and technology volume 2, issue 6, June 2024.Issn: 2181-385x. 262-268 (333/5 28.02.2023).

5.Шамуратова М.Р., Адбукамалова А.Б., Даулетова Ж.К., Эшметов И.Д., Изучение сорбционных характеристик почв и определение их влагоемкости.// Universum :Химия и Биология Выпуск: 7(133) Июль 2025 DOI-10.32743/UniChem.2025.133.7.20289 Стр 26-29.(02.00.00.№2)

6.Sh.A.Kuldasheva, Karimova G.M., N.Z.Adizova, R.K.Dauletbayeva , G.R.Nortojieva ,M.Boboqulova. Features of studying the ecological state of the desolate regions of Bukhara-Khiva for the selection of fixers of mobile sands and soils // European Journal of Agricultural and Rural Education (EJARE) Available Online at: <https://www.scholarzest.com> Vol. 4 No. 01, January 2023 ISSN: 2660-5643 13-17ст. (05.00.00.№8).

**II bo'lim (II часть; part II)**

7.Dauletbayeva R.K., Kuldasheva Sh.A., Adizova N.Z., Karimova G.M., Kurbonov F.. Compositions of clay suspensions for fixing moving sands and soils // E3S Web of Conferences 390, 01029 (2023) AGRITECH-VIII <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339001029> 2023. Pp. 1–6. (scopus)

8.Kuldasheva Sh.A., Karimova G.M., Dauletbayeva R.K.. Degradatsiyaga uchragan tuproqlarning dolzarb muammolari // Академия наук республики узбекистон каракалпакское отделение Каракалпакский научно-

исследовательский институт естественных наук Материалы Республиканской научно-практической конференции «Эффективность использования местных минералов при восстановлении деградированных почв» Nukus, 13– mart, 2023. – 34–38 б.

9.Kuldasheva Sh.A., Abdikamalova A.B., Abduraximov D.X., Dauletbayeva R.K., Karimova G.M.. Mahalliy PAA va uning asosidagi polielektrolitlarning xususiyatlarini o‘rganishning ahamiyati // “Fizikaviy va kolloid kimyo fanlarining fundamental va amaliy muammolari hamda ularning innovatsion yechimlari” mavzusida xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. Namangan, 2024. – 441–444 б.

10.Kuldasheva Sh.A., Dauletbaeva R.K., Niyazova D.B., Karimova G.M.. Orol va orol bo‘yi ko‘chma qum va strukturasisiz tuproqlarni yaxshilash uchun sanoat ikkilamchi xomashyosi asosida samarali strukturant reagentlar olish // “Orol dengizi qurishining atrof-muhitga ta’siri” Mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjuman to‘plami ECOILM.UZ. 22–aprel 2024.– 373–379 б.

11.Sh.A.Kuldasheva, M.Boboqulova, A.G‘.Usmonova, G.R.Nortojeva, Karimova G.M., CHO‘L HUDUDLARI QUM DISPERSLARINI KO‘PFUNKSIONAL TARKIBLI STRUKTURANTLAR YORDAMIDA MUSTAHKAMLASH “Zamonaviy dunyoda ilm-fan va texnologiya” nomli ilmiy-amaliy konferensiya <https://doi.org/10.5281/zenodo.7198840> 161-163стр.

12.Ш.А.Кулдашева, Д.Х.Абдурахимов, Г.Р.Нортожиева СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТРАДИЦИОННЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ // Zamonaviy dunyoda innovatsion tadqiqotlar :Nazariya va amaliyot nomli ilmiy, masofiy ojlayn konferensiya <https://doi.org/10.5281/zenodo.7220373> 476-479стр.

Avtoreferat «O‘zbekiston kimyosi» jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib,  
o‘zbek ,rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.

**Bosmaxona litsenziyasi:**



**9338**

Bichimi: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» garniturası.  
Raqamli bosma usulda bosildi.  
Shartli bosma tabog‘i: 3,5. Adadi 100 dona. Buyurtma № 49/25.

Guvohnoma № 851684.  
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.  
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko‘chasi, 83-uy.

