

## Hibrid kompozitlər

### Kimya və kimya texnologiyası

Əliyeva S.B.

Bakı Dövlət Universiteti

E-mail: solmaz.aliyeva@yahoo.com

Təqdim edilmiş icmal məqalə hibrid kompozitlərə həsr edilmişdir. Kompozit və hibrid kompozit terminlərinin fərqləri izah edilmiş və sintez metodları şərh olunmuşdur. Həmçinin zol-gel, polimerin ərintidə və məhlulda qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması və *in situ* polimerləşmə metodları ilə polimer matrisli kompozitlərin sintezinə aid son on ildə aparılmış tədqiqat işlərinə də yer verilmişdir.

*Açar sözlər:* hibrid kompozit, zol-gel metodu, interkalyasiya, doldurucular, nanohissəciklər.

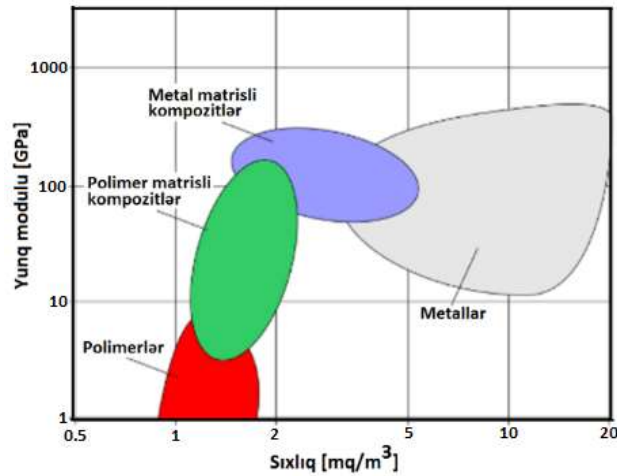
#### Giriş

Kompozit materialı iki və ya daha çox sayda komponentdən ibarət olan materialdır. Adətən, kompozitin bir komponenti matris, digər komponenti isə doldurucu adlandırılır. Matrisin tipindən asılı olaraq kompozit materialları metal matrisli, qeyri-metal matrisli və polimer matrisli kompozitlərə ayrılır. Polimer matrisli kompozitlərin hazırlanması istifadə edilən polimerin termoreaktiv və ya termoplastik olmasından asılı olmayaraq metal matrisli və qeyri-metal matrisli kompozitlərə nisbətən daha asandır və bu asanlıq polimerlərin emalı üçün nisbətən aşağı temperaturların tələb olunması ilə əlaqədardır [1].

Doldurucular səth modifikasiyaedici agentlərdən və texnoloji əlavələrdən fərqli olaraq polimerə nisbətən daha yüksək qatılıqlarda (>5%) əlavə olunur [2]. Mascia tərəfindən təklif edilmişdir ki, doldurucular onların materiala verdiyi əsas xassələr (məsələn, mexaniki, elektrik, termiki, alovlanma vaxtının gecikdirilməsi, həlledici və aqressiv maddələrə qarşı davamlılıq və s.) əsasında təsnif edilsin [3]. Lakin doldurucular bəzi hallarda həm də çoxfunksiyalı olur və kompozitin əsas xassəsini dəyişməklə yanaşı, ona bioloji parçalanma, uzunömürlülük, bioloji aktivlik, şüa adsorbsiya etmək qabiliyyəti kimi əlavə xassələr də verir [2].

Kompozitləri təşkil edən komponentlər öz xassələrinə görə bir-birlərindən fərqlənir və onların bir materialda birləşməsi əvvəlcədən təxmin edilməsi çətin olan sinergetik effekt yaradır (şəkil 1) [4].

Kompozitlərdə materialın qeyri-üzvi komponentinin ölçüsü, adətən bir neçə mikrondan bir neçə millimetərə qədər olur ki, bu da alınan materialın xassələrinin qeyri-bircinsliliyinə səbəb olur. Qeyd edilmiş çatışmazlığın aradan qaldırılması kompoziti təşkil edən komponentlərdən birinin 1 µm-dan kiçik ölçülərə qədər kiçildilməsi yolu ilə mümkün olmuşdur [2].



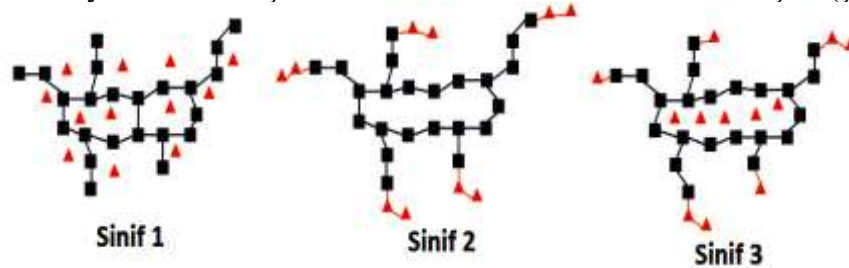
Şəkil 1. Polimerlər, metallar və onların kombinasiyasından əmələ gələn polimer matrisli və metal matrisli kompozitlərin sıxlığının Yüngül modulundan asılılığı [4]

### Məsələnin qoyuluşu

Beynəlxalq Təmiz və Tətbiqi Kimya Dərnəyi (İYUPAK) tərəfindən qeyri-üzvi, üzvi və ya hər iki tip komponentlərin eynicinsli qarışığından ibarət olan materiallar hibrid kompozitlər kimi adlandırılır (komponentlərin ölçüsü, adətən 1  $\mu\text{m}$ -dən kiçik olur) [5]. Lakin Kikelbik tərəfindən qeyd edilmişdir ki, bu tərif genişdir və onun bəzi çatışmayan cəhətləri var. Belə ki, qeyd olunan tərif bir çox qeyri-üzvi kristallik materialları, polimer qarışıqlarını və nanokompozitləri də əhatə edir. Kikelbik hibrid kompozitlər üçün aşağıdakı tərfi təklif etmişdir: hibrid kompozit, materialda molekulyar dispersləşmiş ən azı iki, əsasən də qeyri-üzvi və üzvi komponentlərdən ibarət olan materialdır [6]. Kikelbikin “Hybrid Materials – Past, Present and Future” adlı məqaləsində, həmçinin digər elmi ədəbiyyatlarda hibrid kompozit və nanokompozit terminlərinin (nanokompozitlərə komponentlərdən birinin ölçüsü 1-100 nm olan materiallar aid edilir) aydın müqayisə olunmadığı qeyd edilmişdir. O, hesab edir ki, komponentlərdən biri 1-100 nm intervalında olan qeyri-üzvi və üzvi komponentlərin molekulyar dispersləşməsindən alınmış hibrid kompozitin xassələri analoji komponentlərdən alınmış nanokompozitin xassələrindən fərqli ola bilər [6].

Yuxarıda qeyd edilənlərdən başqa hibrid kompozitlər üçün verilmiş digər təriflər də məlumdur: hibrid kompozit dedikdə kimyəvi cəhətdən bir-birindən fərqlənən komponentlərin (adətən bir üzvi və bir və ya bir neçə nanoölçülü qeyri-üzvi) qarşılıqlı təsir hesabına ilkin komponentlərin xassə və quruluşlarından fərqli, lakin əksər hallarda onlardan ötürülmüş xassələrə malik olan material başa düşülür [7].

Sanchez and Ribot hibrid kompozitləri [8] üzvi və qeyri-üzvi komponentlər arasında yaranan rabitənin qeyri-kovalent və ya kovalent olmasından asılı olaraq iki sinfə ayırmışdır (Sınıf I və Sınıf II). Bu təsnifata əsasən Sınıf I hibrid kompozitlərinin komponentləri zəif rabitələrlə (hidrogen, Van der Vaals qarşılıqlı təsirlər, ion rabitəsi,  $\pi$ - $\pi$  qarşılıqlı təsirləri və ya elektrostatik qüvvələr) (şəkil 2), Sınıf II hibrid kompozitlərinin komponentləri isə güclü kimyəvi rabitələrlə (kovalent və ya ion-kovalent) (şəkil 2) əlaqələnir. Daha sonra isə Vojcik və Klein hibrid strukturların əlavə olaraq üçüncü sinfini (Sınıf III) də fərqləndirmiş və bura həm qeyri-üzvi komponentlərin polimer matrisində dispersləşməsi, həm də qeyri-üzvi komponentlə üzvi komponent arasında kimyəvi rabitənin yaranması müşahidə olunan strukturları da əlavə etmişdir (şəkil 2) [9].



Şəkil 2. Sınıf I, Sınıf II və Sınıf III hibrid kompozitlərin komponentlərinin materialda sxematik təsviri; ▲-qeyri-üzvi komponent, ■-üzvi komponent [10]

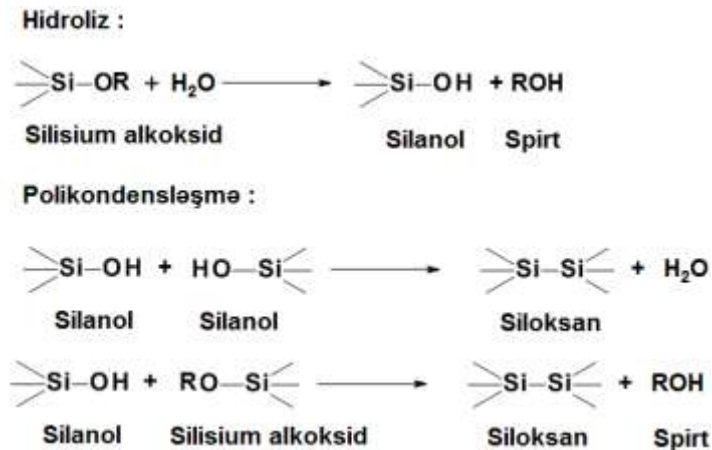
### Həll üsulları

Hibrid kompozitlərin sintezi üçün hal-hazırda daha çox istifadə edilən metodlar aşağıdakılardır: zol-gel metodu (və ya templat sintez), polimerin ərintidə qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması, polimerin məhlulda qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması və laylı quruluşlu maddələrin laylararası boşluğuna interkalyasiya edilmiş monomerin *in situ* polimerləşməsi. Qeyd etmək lazımdır ki, sintez edilmiş hibrid kompozitin elektrik, termal və mexaniki xassələri doldurucunun polimer matrisində dispersləşməsindən, yəni sintez metodundan əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır [7].

**Zol-gel metodu və ya templat sintez.** Zol-gel metodu və ya templat sintez bir neçə onillikdə nisbətən aşağı temperaturda keramika prekursorları və qeyri-üzvi şüşə hazırlamaq üçün geniş tətbiq edilmişdir. 1846-cı ildə Ebelmanl və Qraham tetraetilortosilikatın turş mühitdə hidrolizindən lifşəkilli SiO<sub>2</sub> alınması haqqında məlumat vermiş [11] və 1950-ci ildə bu metod Bredi və əməkdaşları tərəfindən fenilsilseskvioksan-alkilsilseskvioksan sopolimerinin alınması üçün tətbiq edilmişdir [12]. 1985-ci ildə zol-gel metodu Uilks və əməkdaşları [13] tərəfindən “keramer”, Şmidt və əməkdaşları [14] tərəfindən isə “ormosil” və ya “ormoser” adlandırılan yeni hibrid kompozitlərin yaradılması üçün istifadə olunmuşdur.

Zol-gel prosesi, adətən su və ya üzvi həlledici mühitində aparılır və onun prekursorları metal halogenidləri, silisium və metalların alkoksidləri (Me(OR)<sub>n</sub>, Me=Ti, Zn, Al, Sn, Ce, Mo, W, lantanoidlər və s., R=Alk) hesab olunur [15]. Zol-gel prosesi bir neçə mərhələdən ibarətdir. Bu mərhələlərə zolun formalaşması ilə nəticələnən prekursorların ardıcıl hidrolizi (üzvi-həlləcildə qeyri-hidrolitik proses) və nukleofil əvəzetmə mexanizmi vasitəsilə kondensləşmə aiddir. Müəyyən edilmişdir ki, silisium alkoksidlərindən fərqli olaraq metal alkoksidlərinin suda hidroliz reaksiyası çox sürətli baş verir. Zol bir-biri ilə zəif qarşılıqlı təsirdə olan ayrı-ayrı hissəciklərdən ibarət kolloid məhluldur və tikilmə reaksiyaları nəticəsində gələ çevrilir (sulu gel). Bu struktur sonrakı mərhələdə gəlin qurudulma şəraitindən (buxarlandırmaqla qurutma və ya superkritik qurutma) asılı olaraq kserogel və ya aerogelə çevrilir [15].

Zol-gel proses zamanı sulu məhlulda baş verən kimyəvi reaksiyaları alkoksisilan nümunəsində nəzərdən keçirək. Birinci mərhələdə alkoksisilanın hidrolizi yolu ilə həlledicidə dispersləşmiş Si-OH qrupları saxlayan nanoölçülü hissəciklər alınır (zol). İkinci mərhələdə isə Si-OH qrupları saxlayan zol hissəciklərinin digər Si-OH və alkoksisillan ilə polikondensləşməsi nəticəsində məsamələrində həlledici molekulları saxlayan gel formalaşır (şəkil 3) [16].



Şəkil 3. Zol-gel proses zamanı sulu məhlulda baş verən kimyəvi reaksiyalar [16]

Zol-gel proses zamanı tullantı suları ayrılmadığı üçün bu üsul ekoloji baxımdan əlverişli sayılır. Həmçinin zol-gel metodu ucuz başa gəlir və aşağı temperaturlarda aparılır, yüksək təmizlik dərəcəli şəffaf və homogen bərk materialların alınması üçün istifadə edilir [15].

**Polimerin ərintidə qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması.** Bu üsulla hibrid kompozitlərin sintezi yüksək temperatur təsiri ilə polimer ərintisinin alınması, nanoölçülü doldurucunun polimer ərintisinə əlavə edilməsi və nəhayət doldurucunun polimer ərintisində homogen paylan-

ması üçün qarışdırılma mərhələlərindən ibarətdir. Polimerin ərintidə qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması metodu ilə hibrid kompozitlərin alınması üçün həlledici istifadə edilmir və buna görə də üsul ekoloji baxımdan əlverişli sayılır. Həmçinin bu metod sənaye prosesləri olan təzyiqli altın- da tökmə və ekstruziya prosesləri ilə hibrid kompozitlərin alınmasına imkan verir [17]. Lakin polimerin ərintidə qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması metodu, yalnız termoplastik polimer matrisli hibrid kompozitlərin hazırlanması üçün tətbiq edilir [1]. Bundan başqa proses zamanı istifadə edilən yüksək temperaturlar modifikasiya edilmiş doldurucunun səthində olan funksional qrupların parçalanmasına səbəb ola bilər. Məsələn alkilammonium ilə modifikasiya edilmiş üzvi gillər 140°C-dən çox temperaturlarda parçalanırlar. Polimerlərin isə termiki işlənilməsi, adətən 190-220°C temperatur intervalında aparılır [18]. Bu cür halların baş verməməsi üçün işlənilmə şəraitinin optimallaşdırılması yaxşı dispersləşmiş materialın alınmasında vacib rol oynayır.

**Polimerin məhlulda qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması.** Qeyd olunmuş üsul ilə hibrid kompozitlərin alınması bir neçə mərhələdən ibarətdir [19]: 1) qeyri-üzvi nanoölçülü doldurucunun həlledicidə dispersləşdirilməsi və polimer məhlulunun hazırlanması; 2) doldurucu və polimer məhlullarının qarışdırılması; 3) həlledicinin tənzimlənən buxarlandırılması və (və ya) hibrid kompozitin çökdürülməsi. Polimer məhlulunun qarışdırılması yolu ilə hibrid kompozitlərin alınması üsulu sadə və ucuzdur. Lakin bu üsulun proses zamanı qeyri-üzvi nanohissəciklərin aqlomerasiyaya meyilli olmaları kimi çatışmazlığı vardır və proses zamanı həlledici istifadəsinin zəruriliyi onu ekoloji cəhətdən əlverişsiz edir.

**İnterkalyasiya olunmuş monomerlərin *in situ* polimerləşməsi.** İnterkalyasiya olunmuş monomerlərin *in situ* polimerləşməsi maye monomer molekullarının və ya monomer məhlulunun laylı quruluşlu maddənin (məsələn, qrafit və ya onun törəmələri,  $V_2O_5$ ,  $MoS_2$ ,  $MoO_3$ , gillər, laylı ikiqat hidroksidlər) laylararası boşluğuna interkalyasiya edilərək polimerləşməsinə əsaslanır. Bu metodun üstün cəhəti ondan ibarətdir ki, həm termoplastik, həm də termoreaktiv polimer matrisli hibrid kompozitləri sintez etmək olar [18].

**Müxtəlif üsullarla son illərdə sintez edilmiş polimer matrisli kompozitlər.** Zol-gel metodu ilə Budnyak və əməkdaşları tərəfindən tetraetoksisilanın bioloji polimer olan xitozan məhlulunda hidrolizə əsaslanan xitozan-silisiyum nanokompozitinin sintezi həyata keçirilmişdir. Əldə edilmiş nanokompozit tullantı sularında mikromiqdarda olan V(V), Mo(VI), və Cr(VI) ionlarının təmizlənməsində sorbent kimi tətbiq edilmişdir. Sorbsiya məhlulun pH qiymətinin, metal ionlarının başlanğıc qatılığının və sorbsiya müddətinin təsiri öyrənilmiş və alınmış nəticələr təmiz xitozan ilə sorbsiyadan alınmış nəticələrlə müqayisə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, xitozan-silisiyum nanokompozitinin V(V), Mo(VI), və Cr(VI) ionlarına qarşı sorbsiya tutumu təmiz xitozana nisbətən daha çoxdur [16].

Doğan və əməkdaşları tərəfindən poli(metilmetakrilat) (PMMA) və nanohidroksiapatit (nHAp) əsasında polimerin ərintidə qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması metodu ilə iki vintlilik ekstruderdə lent şəklində formalaşdırılmış PMMA/nHAp nanokompozit sintez edilmişdir. Müəlliflər tərəfindən alınmış materialın həm faza tərkibi, funksional qrupları və morfologiyası uyğun olaraq rentgen faza analizi, infraqırmızı spektroskopiyaya və skanedic elektron mikroskopiyaya metodları ilə öyrənilmiş, həm də onun qanla uyğunluğu, sitotoksikliyi və genotoksikliyi tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, PMMA/nHAp nanokompoziti bioloji olaraq uyğundur, sitotoksiki effekt göstərmir və nanohidroksiapatitin polimerə əlavə edilməsi onun genotoksikliyini azaldır [20].

Digər bir tədqiqat işində Kloisit kommersiyyə adı ilə tanınan və üzvi birləşmələrlə modifikasiya edilmiş fillosilikat və termoplastik poliuretan (TPU) əsasında həm polimerin ərintidə, həm də məhlulda qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması metodu ilə TPU/üzvigil nanokompoziti sintez edilmiş və alınmış nümunələrin xassələri və quruluşu müqayisə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, polimerin məhlulda qarışdırılması metodu ilə alınmış TPU/üzvigil nanokompoziti daha yüksək qaz baryerinə malikdir və bu nanokompozitdə üzvi gil layları polimer matrisində daha yaxşı dispersləşmişdir [21].

Bonakkoroso və əməkdaşları tərəfindən polikarbonat və qrafen əsaslı kompozitin sintezi polimerin məhlulda qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması metodu ilə həyata keçirilmişdir. Kompozitin sintezi polikarbonatın 1,3-dioksolan məhlulunda həll edilməsi, iki və ya bir neçə laylı qrafenin 1,3-dioksolan məhlulunda dispersləşdirilməsi, polikarbonat məhlulu ilə qrafen məhlulunun ultrasəs hamamında qarışdırılması və nəhayət məhluldan alınmış kompozitin koagulyasiya ilə çökdürülməsi mərhələlərindən ibarətdir. Müəlliflər tərəfindən qeyd edilmişdir ki, alınmış polikarbonat/qrafen kompozitinin yaxşılaşmış mexaniki və elektrik xassələri, həmçinin termiki satabilliyi onu gələcəkdə 3D çap əsaslı tətbiqlər üçün perspektiv material edir [22].

Ənənəvi polimer matrisli kompozitlər doldurucu və polimer arasında yüksək fazalararası termiki müqavimətin olduğu üçün, adətən məhdud istilik keçiriciliyinə malik olur. Çjou və əməkdaşları tərəfindən yüksək istilik keçiriciliyinə malik kompozit material interkalyasiya olunmuş monomerin *in situ* polimerləşməsi metodu ilə sintez edilmişdir. ε-kaprolaktamın qrafitin laylararası boşluğuna interkalyasiyası üçün o, birinci mərhələdə əridilmiş və üzərinə rəngsiz və şəffaf məhlulun alınması üçün 6-aminokapron turşusu əlavə edilmişdir. Bu proses ε-kaprolaktamdan kaprolaktam ionunun, 6-aminokapron turşusundan isə  $H^+$  ionunun əmələ gəlməsinə səbəb olur. Daha sonra alınmış kaprolaktam ionu qrafitin laylararası boşluğuna interkalyasiya edilmiş və onun *in situ* polimerləşməsi yolu ilə poliamid-6/qrafit nanotəbəqələri kompoziti sintez edilmişdir [23].

Digər bir tədqiqat işində Çen və əməkdaşları tərəfindən qrafitin laylararası boşluğuna interkalyasiya olunmuş anilinın ammonium peroksidisulfat (APS) inisiatoru istifadə etməklə *in situ* polimerləşməsi metodu ilə mikrodalğalı şüaları adsorbsiya etmək qabiliyyətinə malik yeni qrafen/polianilin hibrid kompoziti sintez edilmişdir (şəkil 4) [24].



Şəkil 4. Qrafen/polianilin hibrid kompozitin sintez sxemi [24]

Çzyan və əməkdaşları tərəfindən *in situ* polimerləşmə metodu ilə polipirrol/qrafit kompozitin sintezi aparılmışdır. Kompozitin sintezi aşağıdakı kimi yerinə yetirilmişdir: pirrol və HCl-un sulu məhlulu qarışdırılmış, soyudulmuş və üzərinə genişlənmiş qrafit əlavə olunmuşdur. Əldə edilmiş suspenziya buz hamamında ultrasəs təsiri ilə qarışdırılmış və ammonium disulfoperoksid inisiatoru istifadə edilərək pirrolun genişlənmiş qrafitin laylararası boşluğunda *in situ* polimerləşməsi həyata keçirilmişdir. Müəlliflər tərəfindən alınmış kompozitin xassələrinin tədqiqi göstərmişdir ki, polipirrol/qrafit kompoziti mikrodalğa şüalarını adsorbsiya etmək qabiliyyətinə malikdir [25].

### Nəticə

Hibrid kompozitlər əsasən zol-gel, polimerin ərintidə və məhlulda qeyri-üzvi komponentlə qarışdırılması və *in situ* polimerləşmə metodları ilə sintez edilir. Ədəbiyyat məlumatlarına əsasən müəyyən edilmişdir ki, yuxarıda qeyd olunan metodlarla üzvi və qeyri-üzvi komponentlər arasında termiki, mexaniki, elektrik, adsorbsiya və s. xassələri yaxşılaşmış yeni materiallar sintez etmək mümkündür.



**Ədəbiyyat**

1. Rumin W., Shuirong Z., Yaping Z. Polymer matrix composites and technology. – Beijing: Science Press, 2011. – P. 555.
2. Xanthos M. Functional Fillers for Plastics. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2005. – P.432.
3. Mascia L. The Role of Additives in Plastics. – London: Arnold E., 1974. – P.172.
4. Ashby M.F., Bréchet Y.J.M. Designing hybrid materials. // *Acta Mater.* – 2003. – Vol.51. – Pp.5801-5821.
5. Alemán J., Chadwick A., He J., Hess M., et al. Definitions of terms relating to the structure and processing of sols, gels, networks, and inorganic-organic hybrid materials. // *Pure and Applied Chemistry.* – 2007. – Vol.79. – Pp.1801-1829.
6. Kickelbick G. Hybrid Materials – Past, Present and Future. // *Hybrid Mater.* – 2014. – Vol.1. – Pp.39-5.
7. Иннокентьевна С.Е. Гибридные композиты на основе азотсодержащих гетероциклических низко- и высокомолекулярных соединений и диоксида кремния. / Диссер. канд. хим. наук. – Иркутск, 2017.
8. Sanchez C., Ribot, F. Design of hybrid organic-inorganic materials synthesized via sol-gel chemistry. // *New J. Chem.* – 1994. – Vol.18. – Pp.1007-1047.
9. Wojcik A, Klein LC. Transparent Organic/Inorganic Hybrid Gels: A Classification Scheme. // *Appl. Organomet. Chem.* – 1997. – Vol.11. – 3p.129-135.
10. Delville M-H., Taubert A. Hybrid Organic-Inorganic Interfaces. // *Towards Advanced Functional.* – Germany: Wiley-VCH, 2017. – Vol.1. – P.968.
11. Hench L.L., West J.K. The sol-gel process. // *Chem. Rev.* – 1990. – Vol.90. – Pp.33-72.
12. Warrick E. Forty Years of Firsts a Recollection of Dow Corning Pioneer. – New York: McGraw-Hill, 1990. – P.330.
13. Huang H.H., Orlor B., Wilkes G.L. Ceramers: Hybrid materials incorporating polymeric/oligomeric species with inorganic glasses by a sol-gel process. // *Polym. Bull.* – 1985. – Vol.14. – Pp.557-564.
14. Schmidt H. Chemistry of material preparation by the sol-gel process. // *J. Non-Cryst. Solids.* – 1988. – Vol.100. – Pp.51-64.
15. Samiey B., Cheng C.-H., Wu J. Organic-Inorganic Hybrid Polymers as Adsorbents for Removal of Heavy Metal Ions from Solutions: A Review. // *Materials.* – 2014. – Vol.7. – Pp.673-726.
16. Budnyak T.M., Pylypchuk I.V, Tertykh V.A., Yanovska E.S. and et al. Synthesis and adsorption properties of chitosan-silica nanocomposite prepared by sol-gel method. // *Nanoscale Res. Lett.* – 2015. – Vol.10. – Pp.1-10.
17. Fawaz J., Mittal V. Synthesis of Polymer Nanocomposites: Review of Various Techniques. / Edited by Mittal V. – Weinheim: Wiley-VCH, 2014. – P.298.
18. Abedi S., Abdouss, M. A review of clay-supported Ziegler-Natta catalysts for production of polyolefin/ clay nanocomposites through in situ polymerization. // *Appl. Catal. Gen.* – 2014. – Vol.475. – Pp.386-409.
19. Shawky H.A., Chae S.-R., Lin S., Wiesner M.R. Synthesis and characterization of a carbon nanotube/polymer nanocomposite membrane for water treatment. // *Desalination.* – 2011. – Vol.272. – Pp.46-50.
20. Yilmaz B., Doğan S., Kasimoğulları S.Ç. Hemocompatibility, cytotoxicity, and genotoxicity of poly(methylmethacrylate)/nanohydroxyapatite nanocomposites synthesized by melt blending method. // *Int. J. Polym. Mater. Po.* – 2018. – Vol.67. – Pp.351-360.
21. Ercan N., Durmus A., Kaşgöz A. Comparing of melt blending and solution mixing methods on the physical properties of thermoplastic polyurethane/organoclay nanocomposite films. // *Journal of Thermoplastic Composite Materials.* – 2017. – Vol.30. – Pp.950-970.

22. Lago E., Toth P.S., Pugliese G., Pellegrini V. Solution blending preparation of polycarbonate/graphene composite: boosting the mechanical and electrical properties. // RSC Adv. – 2016. – Vol.6. – Pp.97931-97940.

23. Meng F., Huang F., Guo Y., Chen J. et al. In situ intercalation polymerization approach to polyamide-6/graphite nanoflakes for enhanced thermal conductivity. // Compos. Part B Eng. – 2017. – Vol.117. – Pp.165-173.

24. Chen X., Meng F., Zhou Z., Tian X., et al. One-step synthesis of graphene/polyaniline hybrids by in situ intercalation polymerization and their electromagnetic properties. // Nanoscale. – 2014. – Vol.6. – Pp.8140-8148.

25. Shan L., Chen X., Tian X., Chen J., et al. Fabrication of polypyrrole/nano-exfoliated graphite composites by in situ intercalation polymerization and their microwave absorption properties. // Compos. Part B Eng. – 2014. – Vol.73. – Pp.181-187.

## **Резюме**

**Алиева С.Б.**

### **Гибридные композиты**

Представленная статья посвящена гибридным композитам. Описаны различия между терминами композит и гибридный композит, а также рассмотрены методы синтеза. Также включены материалы исследований, проведенных последние десять лет по синтезу полимер-матричных композитов методами золь-гель, смешиванию полимерного сплава и раствора с неорганическими компонентами и *in situ* полимеризации мономеров интеркалированных в межслоевое пространство слоистых веществ.

*Ключевые слова:* гибридный композит, метод золь-гель, нтеркаляция, наполнители, наночастицы.

## **Summary**

**Aliyeva S.B.**

### **Hybrid composites**

The review article is devoted to hybrid composites. The differences between the terms composite and hybrid composite are describes and also the methods of synthesis are considered. The article also includes studies the past ten years on the synthesis of polymer-matrix composites using methods such as sol-gel, melt mixing, solution mixing and *in situ* polymerization of monomers intercalated into the interlayer space of layered compounds.

*Key words:* hybrid composite, sol-gel method, intercalation, fillers, nanoparticles.