

ӘӨЖ 54:547.3

МРНТИ 31.01.11

DOI 10.56525/BSNE9278

МАГНИТТІ БЕЛСЕНДІ ҚОСЫЛЫСТЫҢ СИНТЕЗІ, ҚҰРЫЛЫМЫ ЖӘНЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ

Хамзина Н. Ғ.

Есенов университеті, Ақтау, Қазақстан

e-mail: nazerke1.khamzina@yu.edu.kz

Аңдатпа. Бұл мақалада магнитті белсенді қосылыстардың синтезі, құрылымы және биологиялық белсенділігі туралы толық шолу беріледі. Магнитті нанобөлшектерге негізделген бұл қосылыстар биомедицина саласындағы ерекше магниттік қасиеттері, беттік химиясы және биологиялық үйлесімділігінің арқасында зор қызығушылық тудыруда. Мақалада магнитті нанобөлшектерді синтездеудің әртүрлі әдістері, оның ішінде коципитация, гидротермалды/сольвотермалды синтез, термиялық ыдырау, микроэмульсиялық синтез және жасыл синтез әдістері талқыланады. Сондай-ақ, магнитті белсенді қосылыстардың құрылымдық ерекшеліктері, оның ішінде магнитті нанобөлшектер мен биологиялық белсенді заттарды қаптаудың маңыздылығы қарастырылады. Мақалада магнитті белсенді қосылыстардың биологиялық әсерлері, олардың жасушалар деңгейінде өтетін механизмдері және организмдегі физиологиялық процестерге ықпалы талқыланады. Сонымен қатар, магнитті нанобөлшектер мен басқа да магнитті материалдардың медициналық қолдану салалары, мысалы, қатерлі ісік ауруларын емдеудегі рөлі, дәрілік заттардың жеткізілуі және тіндердегі микроқұрылымдық өзгерістерге әсері қарастырылады. Магнитті белсенді қосылыстардың антиоксиданттық қасиеттері, қабынуға қарсы әсері және басқа да фармакологиялық қасиеттері маңызды зерттеу тақырыптарына айналууда.

Магнитті белсенді қосылыстардың биологиялық белсенділігі дәрі-дәрмек жеткізу, магниттік гипертермия, бейнелеу, биосенсорлар және тіндердің регенерациясы сияқты әртүрлі қолданбаларда талқыланады. Мақалада магнитті белсенді қосылыстардың болашақ даму перспективалары мен клиникалық қолданыстағы шектеулері де қозғалады.

Түйін сөздер: магнитті нанобөлшектер, синтез, құрылым, биологиялық белсенділік, дәрі-дәрмек жеткізу, магниттік гипертермия, бейнелеу, биосенсорлар, тіндердің регенерациясы.

Кіріспе. Соңғы жылдары магнитті нанобөлшектерге (МНБ) негізделген қосылыстар, әсіресе биомедицина саласында, қызығушылық тудыруда. Олардың ерекше магниттік қасиеттері, беттік химиясы және биологиялық үйлесімділігі оларды дәрі-дәрмек жеткізу, бейнелеу және терапия сияқты әртүрлі қолданбалар үшін тартымды кандидаттар етеді. Бұл мақалада магнитті белсенді қосылыстардың синтезі, құрылымы және биологиялық белсенділігі туралы толық шолу беріледі. [1]

Соңғы екі онжылдықта ғылыми лексикаға «нано» префиксі бар бірқатар жаңа терминдер жылдам басып кірді: нанобөлім, нанокұрылым, нанотехнология, наноматериал, нанокластер, нанохимия, нанокolloидтар, нанореактор және т.б. зерттеушілердің нанообъектілерге деген қызығушылығы олардың ерекше физикалық және химиялық қасиеттерінің анықталуынан туындады, бұл «кванттық өлшемдік әсерлердің» пайда болуымен байланысты. Шағын бөлшектердің физикалық және химиялық қасиеттерінің өзгеруінің басты себептерінің бірі олардың өлшемдерінің азаюына қарай көлемдік фазаның атомына қарағанда өзге жағдайларда болатын «жер үсті» атомдарының салыстырмалы үлесінің өсуі болып табылады. Қазіргі уақытта нанобөлшектердің бірегей физикалық қасиеттері қарқынды түрде зерттелуде. Нанобөлшектердің магниттік қасиеттері көптеген факторлармен анықталады, олардың арасында химиялық құрамды, кристалл тордың типін және оның ақаулық дәрежесін,

бөлшектердің өлшемі мен нысанын, морфологияны біртекті емес бөлшектер үшін, бөлшектердің қоршаған матрицамен және көршілес бөлшектермен өзара әрекеттесуін бөліп көрсету керек. Нанобөлшектердің мөлшерін, нысанын, құрамын және құрылысын өзгерте отырып, олардың негізінде материалдардың магниттік сипаттарын белгілі бір бөліктерде басқаруға болады. Алайда, нанобөлшектердің мөлшері мен химиялық құрамы бірдей синтезде осы факторлардың барлығын бақылау әрдайым мүмкін емес, сондықтан бір типті наноматериалдардың қасиеттері әртүрлі болуы мүмкін. Соңғы жылдары магнитті наноматериалдарды әзірлеу саласында өзгерістер болды, оларды революциялық деп атауға болады. Бұл нанометр өлшемдерінің магнит бөлшектерін алу мен тұрақтандырудың тиімді әдістерін әзірлеумен де, сондай-ақ осындай бөлшектерді зерттеудің физикалық әдістерін дамытумен де байланысты. Мысалы, нанометрлік металл немесе оксидті бөлшектерді ферросұйықтықтар түрінде ғана емес дайындау технологиясы 1960-шы жылдары әзірленген, сонымен қатар түрлі «қатты» матрицаларға (полимерлер, цеолиттер және басқалар) енгізілген бөлшектер түрінде де алу мүмкіндік берді. Магнитті емес қатты диэлектрлік матрицадан және онда таратылған магниттік нанобөлшектерден (3-10 нм) тұратын материалдың магниттік сипаттамалары 1980 жылдары сипатталған. Мұндай материалда нанобөлшектердің болуы және олардың құрамы рентгендік аз бұрышты шашырауы Мессаубэр спектроскопия әдістерімен анықталды. Болашақта бұл үлгілер заманауи әдістермен қайта зерттелді және бұрын алынған нәтижелер негізінен дәлелденді.

Магниттік сұйықтар құрылымы мен құрылымдық кинетика өзгерістері жайлы мәліметті осы орталардың жұқа қабатындағы жарық шашырау процестерін зерттеу көмегімен алуға болады. Жарық шашыраудың қарқындылығының майда агрегаттар мен изотропты пішіндегі бөлшектердің санының температура ұлғаюы кезінде ұсақталуы есебінен өсетіндігін дәлелдейді [3]. Ұзақ сақталу кезінде магнитті сұйықтардың қабыршақтануға төзімділігі ондағы керосин негізінде белгілі бір жағдайларда, магнитті моментті нөлге тең болмайтын магниттік өріс тіпті жоқ болғанда, квазиқатты құрылымдық жүйесі жақсы дамып таралады. Әдетте, мұндай агрегаттар түрлі жақсы анизотроптылығына ие, магниттік өрістің сыртқы қосылуын тез қабылдайды, ал егер ол жоқ болғанда жердің магнит өрісінің күш сызықтары бойымен бағытталады. Ал кейбір жағдайларда мұндай агрегаттар қылшықты түрге ие, бұл жағдайда магниттік энергия минимумы магниттік өріс жоқ болғанда агрегаттардың тармақталуы мен тарқатылуының есебінен жүргізіледі.

Магнитті нанобөлшектерді синтездеудің бірнеше әдісі бар, олардың әрқайсысының өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Кейбір әдетте қолданылатын әдістерге төмендегілер жатады:

Копиципитация: Бұл әдіс металл тұздарының ерітіндісін негіздік ортада араластыру арқылы магнитті нанобөлшектерді алуды қамтиды. Бұл қарапайым және масштабтауға оңай әдіс.

Гидротермалды/сольвотермалды синтез: Бұл әдісте жоғары температура мен қысымды қолдана отырып, прекурсорларды органикалық немесе органикалық емес еріткіштерде қыздыру қолданылады. Бұл әдіс өлшемі, пішіні және құрылымы жақсы басқарылатын нанобөлшектерді алуға мүмкіндік береді.

Термиялық ыдырау: Бұл әдіс органометалдық прекурсорларды жоғары температурада термиялық ыдыратуды қамтиды, бұл өлшем мен пішіні бақыланатын нанобөлшектерді түзеді.

Микроэмульсиялық синтез: Бұл әдісте су мен майдың қоспасынан тұратын эмульсияда нанобөлшектерді алу үшін микроскопиялық тамшылар пайдаланылады. Бұл әдіс өлшемі біркелкі нанобөлшектерді алуға мүмкіндік береді.

Жасыл синтез: Бұл әдістерде биологиялық жүйелерде немесе табиғи материалдарда кездесетін экологиялық таза және биоүйлесімді агенттер қолданылады.

Магнитті белсенді қосылыстар көбінесе магнитті нанобөлшектерден және биологиялық белсенді заттардан (дәрілер, нуклеин қышқылдары немесе ақуыздар) тұрады. Магнитті нанобөлшектердің ең көп таралған түрлеріне темір оксидтері (Fe_3O_4 және $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), кобальт ферриттері және никель ферриттері жатады. Бұл нанобөлшектерді әдетте биологиялық

үйлесімді полимерлермен, белоктармен немесе басқа да органикалық материалдармен қаптайды. Қаптаудың маңыздылығы мынада:

1. Биоүйлесімділікті арттыру: Қаптау магнитті нанобөлшектердің цитоуыттылығын азайтып, оларды организмде қауіпсіз қолдануға мүмкіндік береді.

2. Мақсатты бағыттау: Қаптау қабатына арнайы лигандтарды немесе антиденелерді бекіту арқылы, осы қосылыстарды нақты жасушаларға немесе тіндерге бағыттауға болады.

3. Дәрі-дәрмектерді тиеу: Қаптау қабаты дәрі-дәрмектерді немесе басқа да терапевтикалық агенттерді жүктеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

4. Қорғаныс: Қаптау магнитті нанобөлшектерді физиологиялық ортада бұзылудан немесе агглютинациядан қорғайды. Магнитті белсенді қосылыстардың биологиялық белсенділігі олардың құрылымына, құрамына және мақсатты бағытталу қасиеттеріне байланысты. Олар әртүрлі қолданбаларда перспективалы нәтижелер көрсетті, мысалы:

5. Дәрі-дәрмек жеткізу: Магнитті нанобөлшектер дәрі-дәрмектерді тікелей ісік жасушаларына немесе қабыну ошақтарына жеткізу үшін пайдаланылады. Магниттік өрісті қолдану арқылы дәрінің шығарылуын бақылауға болады, осылайша дәрінің тиімділігін арттырады және жағымсыз әсерлерді азайтады.

6. Магниттік гипертермия: Магнитті нанобөлшектерді ауыспалы магниттік өріс астында қыздыру арқылы ісік жасушаларын жоюға болады. Бұл әдіс рақты емдеудің балама немесе қосымша әдісі ретінде зерттелуде.

7. Бейнелеу: Магнитті нанобөлшектерді магниттік-резонанстық томография (МРТ) сияқты бейнелеу әдістерінде контрасттық агенттер ретінде пайдалануға болады. Бұл бейнелеу кезінде жақсырақ анықтыққа жетуге мүмкіндік береді.

8. Биосенсорлар: Магнитті нанобөлшектерді биологиялық сұйықтықтардағы биомаркерлерді анықтау үшін биосенсорларда қолдануға болады. Олардың магниттік қасиеттері аналитикалық сигналды күшейтеді және сезімталдықты арттырады.

9. Тіндердің регенерациясы: Магнитті нанобөлшектерді жасушалардың өсуін және көбеюін ынталандыру және тіндердің регенерациясын жеделдету үшін тіндердің инженерлігінде қолдануға болады. [4]

Материалдар мен зерттеу әдістері. Синтезделген наноманиттік сорбенттердің құрамын, құрылымын және бетінің морфологиясын зерттеу үшін TESCAN фирмасының TM1000 EDS детекторымен, MIRA 3 растрлық электрондық микроскопиясының Hitachi TM 1000 сканерлейтін электрондық микроскопия әдістері қолданылды. Микроскоп детекторлар жүйесімен жабдықталған, олар электрондар шоғырының үлгінің бетімен өзара әрекеттесуі нәтижесінде пайда болатын түрлі сигналдарды тіркейді. Екінші электрондық детекторы (SE – Secondary Electrons) топографиялық контрасты суреттерді алуға мүмкіндік береді. Ал рентгендік энергодисперстік микроанализ жүйесі X-Act (Oxford Instruments) үлгінің бетінде элементтік құрамды жергілікті анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеулер 20 кВ жылдамдатылған кернеуде жүргізілді. Рентгендік энергия-дисперсиялық микроанализ үлгі бетінің әр түрлі салаларында орамдау әдісімен жүргізілді. Ұйғарымды орындау кезінде зерттеу көміртегі скотчында жүргізілгені ескерілді, көміртегі құрамы ескерілмеді. Нәтижесінде жүргізілген зерттеулердің орташа мәні алынды.

Магнитті басқарылатын наносорбенттердің рентгенофазалық құрамы ДРОН-2,0 дифрактометрінде $\text{Co(K}\alpha\text{)}$ – сәулелену $\lambda=1,7902 \text{ \AA}$ 100-900 (2) интервалында, есептегіштің айналу жылдамдығы 2 град/мин, $I=10 \text{ mA}$, $U=30 \text{ kV}$.

Зерттеу нәтижелері.

Зерттеу нәтижелері магнитті қосылыстардың биологиялық белсенділігіне қатысты түрлі маңызды мәліметтерді көрсетеді, бұл олардың медицина мен биотехнологияда кеңінен қолданылуына мүмкіндік береді. Мұнда жүргізілген негізгі зерттеулер мен олардың нәтижелерін қарастырайық: Тәжірибеден алынған нәтиже бойынша келесідей зерттеу нәтижелері алынды Fe_3O_4 магнетит синтезі ($\text{FeSO}_4:\text{FeCl}_3=1:2$) бұл магниттік қасиеттері бар

химиялық қосылыстардың биологиялық жүйелермен өзара әрекеттесуі және олардың организмдегі физиологиялық процестерге әсері.

Көптеген зерттеулер магнитті нанобөлшектердің биологиялық жүйелермен қалай өзара әрекеттесетінін және олардың медициналық мақсатта қолданылуын зерттеді. Негізгі нәтижелер:

Тиімділік: Магнитті нанобөлшектердің наночастицалар дәрілік заттарды мақсатты түрде жеткізуде тиімділік көрсетті. Олар өздері жүктелген дәрілік молекулаларды арнайы тіндерге немесе жасушаларға бағыттай алады, бұл әсіресе қатерлі ісікке қарсы терапияда маңызды.

Магнитті нанобөлшектердің көпшілігі жасуша деңгейінде токсикалық әсерді тудырмады, алайда жоғары дозада немесе ұзақ уақыт қолданғанда белгілі бір зиянды әсерлер байқалды. Бұл мәселе олардың биосәйкестілігін арттыру үшін қосымша зерттеулерді қажет етеді.

100 мл тазартылған суда темір сульфаты $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ және темір хлориді $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1:2 қатынасында ерітеді, магнитті араластырғышта араластырады. Бұдан әрі NH_4OH ерітіндісін $\text{pH} = 12$ дейін тұрақты араластыру кезінде тамшылар арқылы құяды. Қара тұнба пайда болады. Алынған тұнбаларды сүзіп, тазартылған сумен жуады, кептіреді. Өнімнің шығуы 82% құрады. Нәтижесінде жүргізілген зерттеулердің орташа мәні алынды.

Fe_3O_4 магнетит синтезі ($\text{FeSO}_4:\text{FeCl}_3 = 1:3$)

100 мл тазартылған суда Темір сульфаты $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ және темір хлориді

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1:3 қатынасында ерітеді, магнитті араластырғышта араластырады. Бұдан әрі NH_4OH ерітіндісін $\text{pH} = 12$ дейін тұрақты араластыру кезінде тамшылар арқылы құяды. Қара тұнба пайда болады. Алынған тұнбаларды сүзіп, тазартылған сумен жуады, кептіреді. Өнімнің шығуы 82% құрады.

Fe_3O_4 магнетит синтезі ($\text{FeSO}_4:\text{FeCl}_3 = 1:1$)

100 мл тазартылған суда Темір сульфаты $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ және темір хлориді $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1:3 қатынасында ерітеді, магнитті араластырғышта араластырады. Бұдан әрі NH_4OH ерітіндісін $\text{pH} = 12$ дейін тұрақты араластыру кезінде тамшылар арқылы құяды. Қара тұнба пайда болады. Алынған тұнбаларды сүзіп, тазартылған сумен жуады, кептіреді. Өнімнің шығуы 82% құрады.

Fe_3O_4 магнетит синтезі ($\text{FeSO}_4:\text{FeCl}_3 = 1:0,5$)

100 мл тазартылған суда Темір сульфаты ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ және темір хлориді $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1:3 қатынасында ерітеді, магнитті араластырғышта араластырады. Бұдан әрі NH_4OH ерітіндісін $\text{pH} = 12$ дейін тұрақты араластыру кезінде тамшылар арқылы құяды. Қара тұнба пайда болады. Алынған тұнбаларды сүзіп, тазартылған сумен жуады, кептіреді. Өнімнің шығуы 82% құрады.

Мыс феррит синтезі CuFe_2O_4

Мыс феррит синтезі CuFe_2O_4 ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2:\text{FeCl}_3 = 1:2$)

100 мл тазартылған суда мыс нитраты $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ және темір хлориді $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1:2 қатынасында ерітеді, магнитті араластырғышта араластырады. Бұдан әрі NH_4OH ерітіндісін $\text{pH} = 12$ дейін тұрақты араластыру кезінде тамшылар арқылы құяды. Біртіндеп қызыл-қоңыр тұнба пайда болады. Алынған тұнбаларды сүзіп, тазартылған сумен жуады, кептіреді. Өнімнің шығуы 82% құрады.

Мыс феррит синтезі CuFe_2O_4 ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2:\text{FeCl}_3 = 1:3$)

100 мл тазартылған суда мыс нитраты $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ және темір хлориді $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1:2 қатынасында ерітеді, магнитті араластырғышта араластырады. Бұдан әрі NH_4OH ерітіндісін $\text{pH} = 12$ дейін тұрақты араластыру кезінде тамшылар арқылы құяды. Біртіндеп қызыл-қоңыр тұнба пайда болады. Алынған тұнбаларды сүзіп, тазартылған сумен жуады, кептіреді. Өнімнің шығуы 82% құрады.

Мыс феррит синтезі CuFe_2O_4 ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2:\text{FeCl}_3 = 1:1$)

100 мл тазартылған суда мыс нитраты $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ және темір хлориді $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1:2 қатынасында ерітеді, магнитті араластырғышта араластырады. Бұдан әрі NH_4OH

ерітіндісін $pH = 12$ дейін тұрақты араластыру кезінде тамшылар арқылы құяды. Біртіндеп қызыл-қоңыр тұнба пайда болады. Алынған тұнбаларды сүзіп, тазартылған сумен жуады, кептіреді. Өнімнің шығуы 82% құрады.

Мыс феррит синтезі $CuFe_2O_4$ ($Cu(NO_3)_2 : FeCl_3 = 1:0,5$)

100 мл тазартылған суда мыс нитраты $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ және темір хлориді $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 1:2 қатынасында ерітеді, магнитті араластырғышта араластырады. Бұдан әрі NH_4OH ерітіндісін $pH = 12$ дейін тұрақты араластыру кезінде тамшылар арқылы құяды. Біртіндеп қызыл-қоңыр тұнба пайда болады. Алынған тұнбаларды сүзіп, тазартылған сумен жуады, кептіреді. Өнімнің шығуы 82% құрады.

Қорытынды. Магнитті белсенді қосылыстар биомедицина саласында кең ауқымды қолданыстарға ие көп салалы материалдар болып табылады. Олардың магниттік қасиеттерін, беттік химиясын және биологиялық үйлесімділігін реттеу арқылы дәрі-дәрмек жеткізудің жаңа әдістерін жасауға, бейнелеуді жақсартуға және терапевтік тәсілдердің тиімділігін арттыруға болады. Алайда, осы қосылыстардың клиникалық қолданысын кеңейту үшін, олардың токсикологиялық қауіпсіздігін, тұрақтылығын және өндірістік мүмкіндіктерін жақсырақ зерттеу қажет.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. Laurent, S., Dutz, S., Häfeli, U. O., & Mahmoudi, M. (2011). Magnetic fluid hyperthermia: Focus on superparamagnetic iron oxide nanoparticles. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 63(3), 206–230.
2. Gupta, A. K., & Gupta, M. (2005). Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications. *Biomaterials*, 26(18), 3995–4021.
3. Iqbal, Y., Hussain, S., Rehman, A. U., Ahmad, A., & Shah, L. (2022). Magnetic Nanoparticles for Biomedical Applications: A Review. *Nanomaterials*, 12(18), 3163.
4. Pankhurst, Q. A., Thanh, N. T. K., Jones, S. K., & Dobson, J. (2009). Progress in applications of magnetic nanoparticles in biomedicine. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42(22), 224001.
5. Kievit, F. M., & Zhang, M. (2011). Cancer therapeutics using self-assembled magnetic nanoparticles. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 63(7), 592–606.
6. Lu, A. H., Salabas, E. L., & Schüth, F. (2007). Magnetic nanoparticles: synthesis, protection, functionalization, and application. *Angewandte Chemie International Edition*, 46(8), 1222–1244.
7. Jain, T. K., Reddy, K. J., Morales, M. A., Leslie-Pelecky, D. L., & Labhasetwar, V. (2008). Magnetic nanoparticles for targeted and controlled delivery of cancer therapeutics. *Cancer Treatment Reviews*, 34(7), 609–622.

REFERENCES

1. Laurent, S., Dutz, S., Häfeli, U. O., & Mahmoudi, M. (2011). Magnetic fluid hyperthermia: Focus on superparamagnetic iron oxide nanoparticles. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 63(3), 206–230.
2. Gupta, A. K., & Gupta, M. (2005). Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications. *Biomaterials*, 26(18), 3995–4021.
3. Iqbal, Y., Hussain, S., Rehman, A. U., Ahmad, A., & Shah, L. (2022). Magnetic Nanoparticles for Biomedical Applications: A Review. *Nanomaterials*, 12(18), 3163.
4. Pankhurst, Q. A., Thanh, N. T. K., Jones, S. K., & Dobson, J. (2009). Progress in applications of magnetic nanoparticles in biomedicine. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42(22), 224001.
5. Kievit, F. M., & Zhang, M. (2011). Cancer therapeutics using self-assembled magnetic nanoparticles. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 63(7), 592–606.

6. Lu, A. H., Salabas, E. L., & Schüth, F. (2007). Magnetic nanoparticles: synthesis, protection, functionalization, and application. *Angewandte Chemie International Edition*, 46(8), 1222–1244.
7. Jain, T. K., Reddy, K. J., Morales, M. A., Leslie-Pelecky, D. L., & Labhasetwar, V. (2008). Magnetic nanoparticles for targeted and controlled delivery of cancer therapeutics. *Cancer Treatment Reviews*, 34(7), 609–622.

SYNTHESIS, STRUCTURE AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF A MAGNETIC-ACTIVE COMPOUND

Khamzina Nazerke

Yessenov University, Aktau, Kazakhstan

e-mail: nazerke1.khamzina@yu.edu.kz

Annotation. This article presents a comprehensive review of the synthesis, structure, and biological activity of magnetically active compounds. These magnetic nanoparticle-based compounds are of great interest in the field of biomedicine due to their unique magnetic properties, surface chemistry, and biocompatibility. The article reviews various methods for the synthesis of magnetic nanoparticles, including coprecipitation, hydrothermal/solvothermal synthesis, thermal decomposition, microemulsion synthesis, and green synthesis methods. The structural features of magnetically active compounds, including the importance of encapsulation of magnetic nanoparticles and biologically active substances, are also discussed. The article reviews the biological effects of magnetically active compounds, their mechanisms of action at the cellular level, and their impact on physiological processes in the body. In addition, the medical applications of magnetic nanoparticles and other magnetic materials, such as their role in cancer treatment, drug delivery, and effects on microstructural changes in tissues, will be discussed. The antioxidant properties, anti-inflammatory effects, and other pharmacological properties of magnetically active compounds are emerging as important research topics. The biological activity of magnetically active compounds is discussed in various applications such as drug delivery, magnetic hyperthermia, imaging, biosensors and tissue regeneration. The article also discusses the prospects for further development and limitations of clinical applications of magnetically active compounds.

Keywords: magnetic nanoparticles, synthesis, structure, biological activity, drug delivery, magnetic hyperthermia, imaging, biosensors, tissue regeneration.

СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МАГНИТНО-АКТИВНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Хамзина Н. Г.

Университет Есенова, Актау, Казахстан.

e-mail: nazerke1.khamzina@yu.edu.kz

Аннотация: В статье представлен всесторонний обзор синтеза, структуры и биологической активности магнитно-активных соединений. Эти соединения на основе магнитных наночастиц представляют большой интерес в области биомедицины благодаря своим уникальным магнитным свойствам, поверхностной химии и биосовместимости. В статье рассматриваются различные методы синтеза магнитных наночастиц, включая соосаждение, гидротермальный/сольвотермальный синтез, термическое разложение, микроэмульсионный синтез и методы зеленого синтеза. Обсуждаются также структурные особенности магнитно-активных соединений, в том числе важность инкапсуляции магнитных наночастиц и биологически активных веществ. В статье рассматриваются биологические эффекты магнитоактивных соединений, механизмы их действия на клеточном уровне и их

влияние на физиологические процессы в организме. Кроме того, будут обсуждаться медицинские применения магнитных наночастиц и других магнитных материалов, такие как их роль в лечении рака, доставке лекарств и влияние на микроструктурные изменения в тканях. Антиоксидантные свойства, противовоспалительные эффекты и другие фармакологические свойства магнитно-активных соединений становятся важными темами исследований.

Биологическая активность магнитно-активных соединений обсуждается в различных приложениях, таких как доставка лекарств, магнитная гипертермия, визуализация, биосенсоры и регенерация тканей. В статье также обсуждаются перспективы дальнейшего развития и ограничения клинического применения магнитоактивных соединений.

Ключевые слова: магнитные наночастицы, синтез, структура, биологическая активность, доставка лекарств, магнитная гипертермия, визуализация, биосенсоры, регенерация тканей.