

СПРАВКА за най-важните научни постижения

**в трудовете на проф. дн инж. Маргарита Димитрова Попова,
избрани за участие в конкурса за член-кореспонденти на БАН - 2024 г.,
и тяхното значение за развитието на науката**

Научните постижения са в областта на **нанотехнологиите** и предоставят възможности за решаване на важни социалнозначими проблеми, свързани с **опазване на чистотата на въздуха от органични замърсители, намаляване на парниковите емисии, получаване на енергия и химикали от възобновяеми източници**, както и разработване на **иновативни лекарствени системи** с потенциално приложение в превенцията и терапията на различни заболявания. Изследванията са свързани с прилагане на оригинални подходи за разработване на нови наноразмерни материали, включващи мезопорести силикати с различна структура и морфология на частиците, йерархични зеолити и наноразмерни метални оксиди с предварително зададени свойства, които са предпоставка за тяхното успешно приложение. Чрез контролиране на процесите за получаване на наноматериали се постига оптимизиране на техните характеристики с оглед на приложението им в две основни области. **1) като катализатори и адсорбенти** за улавяне и елиминиране на органични замърсители във въздуха, оползотворяване на отпадъчна биомаса, улавяне и оползотворяване на CO₂ и **2) като носители на лекарствени вещества**, осигуряващи тяхното контролирано доставяне в орални, дермални или парентерални системи.

За участие в конкурса са избрани **100 научни труда*** с общ импакт фактор **369.310** от общо **127 публикации**. Броят на публикациите след **2019 г. е 42**, с общ импакт фактор **222.862**, от които **29 (69%)** са в списания с най-високия ранг **Q1**, а **2** от тях са в списания, които оглавяват ранглистата в съответната област.

През 2011 г. групата на проф. М. Попова поставя началото на ново научно направление в България, насочено към разработване на ефективни системи за доставяне на лекарствени вещества чрез използване на модифицирани мезопорести силикати, а **през 2018 г. беше защитена първата докторска дисертация в страната** по тази тематика от Ивалина Трендафилова под ръководството на проф. Маргарита Попова.

В рамките на изпълнение на изследователски проект, стартирал през 2022 г. и финансиран от ФНИ, под ръководството на проф. М. Попова се разработват **3D принтирани адсорбенти и катализатори** с важни за практиката приложения, свързани с опазване на околната среда и получаване на енергия и химикали от възобновяеми източници, по технология за **3D принтиране, приложена в България за първи път**.

1

* Номерацията на цитираната литература съответства на номерацията на научните трудове в списъка на публикациите, включени в конкурса

1. ПРИНОСИ В РАЗРАБОТВАНЕТО НА ЕФЕКТИВНИ АДСОРБЕНТИ И КАТАЛИЗАТОРИ

1.1. ОПАЗВАНЕ НА ЧИСТОТАТА НА ВЪЗДУХА ЧРЕЗ ЕЛИМИНИРАНЕ НА ЗАМЪРСИТЕЛИ НА ВЪЗДУХА И НАМАЛЯВАНЕ НА АРОМАТНИТЕ СЪЕДИНЕНИЯ В ДИЗЕЛОВИТЕ ГОРИВА

В тази тематика са включени 35 научни труда (1-14, 16, 20, 23, 24, 26, 27, 29-31, 60, 67, 70, 72, 73, 76, 80, 86, 92, 94-96).*

Едно от предизвикателствата в областта на опазване на чистотата на въздуха е свързано с разработването на катализатори за окисление на летливи органични съединения (ЛОС) с цел тяхното каталитично елиминиране при по-ниски температури в сравнение с температурите, при които работят търговските катализатори. Хидрирането на ароматни въглеводороди е от голямо значение за индустрията поради строгия контрол на тяхната концентрация в дизеловите горива и широкия обхват на тяхното приложение в индустрията.

Получени са следните важни резултати:

- Установено е, че каталитичната активност на CoMCM-41, NiMCM-41 и Ni/TiMCM-41 нанесени катализатори в реакцията на хидриране на толуен (моделно ЛОС) зависи от природата, локализацията и дисперсността на металните оксидни специи. Окислителната предварителна обработка при умерени температури има благоприятен ефект върху формирането на каталитично активни метални кобалтови специи в последващата редукция на следсинтезното модифициране с кобалт на мезопорести материали с различна порова структура (MCM-41 и SBA-15) и морфология на частиците (конвенционален и сферичен MCM-41). Установено е, че NiMCM-41 е по-активен от CoMCM-41, независимо от предварителната обработка и реакционните условия (**публикации 1, 2, 5, 7, 11**).
- Изучена е възможността за използване на диамантена шихта и ултрадисперсен диамантен прах като носители за каталитично активна никелова фаза. Изследвано е влиянието на предварителната обработка за разлагане на металния прекурсор и получаването на метален никел по време на редукцията. Ултрадисперсните диаманти са многообещаващи носители за нанасяне на метален никел, активен при хидриране на толуен (**публикации 3, 4**).
- Изяснена е ролята на процедурата за модификация, природата и количеството на модификатора и спецификата на носителя за получаване на монокомпонентни Co-, Fe-, Ti-, Ag-, Cr-, Cu- и двукомпонентни Cr/Si-, Cu/Fe-, Co/Fe-, Co/Ti- мезопорести KIL-2, MCM-41, SBA-16 и SBA-15 силикати и зеолити от въглищна пепел с висока каталитична активност, селективност и стабилност в процеса на пълно окисление на моделни летливи органични съединения и техни смеси (**публикации 6, 8-10, 12-14, 30**).

- Чрез импулсна лазерна аблация за първи път са получени хомогенно диспергирани сребърни наночастици в SBA-15, които са активни за пълно окисление на толуен (**публикация 30**).
- Установено е оптималното съотношение за модификация с различни метални оксиди (Cu-Cr, Cu-Fe, Co-Fe, Fe-Ti, Co-Ti) в бикомпонентните каталитични системи, за да се получат катализатори с висока каталитична активност при пълно окисление на толуен (**публикации 8, 10-14, 16, 20, 23, 26, 27, 29, 96**). При модификациите с хром и мед чрез импрегниране на SiO₂ и SBA-15 материали оптималното съдържание на метален оксид е 3 тегл.% хром и 7 тегл.% мед, докато за двукомпонентните мед и желязо съдържащите SBA-15 и SBA-16 оптималното съдържание на Cu е 9 тегл.%, а на Fe е 4.5 тегл.% (**публикации 10, 26**). В последния случай високата каталитична активност се свързва и с ролята на финодисперсията на меден ферит, както показаха наши предишни изследвания (**публикации 14, 16**).
- При добавянето на ниски концентрации на желязо в биметалните CuFe-KIL-2 катализатори (Fe/Si = 0.005) се образуват CuO нанокристали и Cu-охо-Fe клъстери, което значително повишава тяхната каталитична активност в окисление на толуен в сравнение с Cu-съдържащите катализатори поради синергичния ефект между CuO нанокристали (размер 30 nm и 22% фракция) и Cu-оксо-Fe клъстери (78% фракция) (**публикации 24, 27, 67**).
- Чрез избор на подходяща процедура за предварителна обработка (температура и газова среда) каталитичните свойства на модифицираните с метални оксиди катализатори могат да бъдат оптимизирани и да се постигне висока активност за пълно окисление на толуен (**публикации 13, 27**). Установено е, че образуването на финодисперсни кобалт феритни частици върху CoFe/Ti-MCM-41 води до значителното повишаване на каталитичната активност след предварителна обработка във въздух и последвана от обработка във водород при 773 K (**публикация 13**).
- Разработени са нови обработени с плазма зеолити от въглищна пепел, както и Cu и Co-модифицирани зеолити от въглищна пепел, които са използвани като високоактивни, селективни и стабилни катализатори за елиминиране на моделни летливи органични съединения и техни смеси при по-ниски температури (400-450°C) в сравнение с търговските катализатори (**публикации 60, 70, 72, 73, 76, 86, 95**).
- Разработена е двукомпонентна адсорбционна/каталитична система за окисляване на летливи органични съединения и CO₂ адсорбция на базата на евтини зеолити от въглищна пепел, получена при изгаряне на лигнитни въглища (**публикация 76**).
- Разработени са модифицирани желязосъдържащи ZrSBA-15 катализатори, които се характеризират с висока активност за нискотемпературно окисление на толуен (150–380°C) (**публикация 94, избрана като Editor's Choice Article**).

В представената по-долу таблица са сравнени каталитичните резултати, получени с някои от разработените от нас катализатори. Най-висока каталитична активност за пълно окисление на толуен е получена за Fe/ZrSBA-15 катализатор, съдържащ 5 тегл. % Fe и 4.5 тегл. % Zr. Този катализатор се характеризира и с добра каталитична стабилност (публикация 94).

Катализатор	Състав на активната фаза	Температура за 50% превръщане на толуен до CO ₂ и H ₂ O	Публикация
Co/TiMCM-41	10 тегл.% Co	340 °C	13
FeKIL-2	1 тегл.% Fe	380 °C	24
CuFe/SBA-15	9 тегл.% Cu, 4.5 тегл.% Fe	300 °C	26
Cu/FeKIL-2	6 тегл.% Cu, 1 тегл.% Fe	330 °C	67
Co/KIL-2	4 тегл.% Co	330 °C	29
Ag/MCM-41	6 тегл.% Ag	360 °C	30
Fe/ZrSBA-15	5 тегл.% Zr, 4.5 тегл.% Zr	265 °C	94

1.2.ОКИСЛИТЕЛНО ДЕХИДРИРАНЕ НА ЦИКЛОХЕКСАНОЛ ДО ЦИКЛОХЕКСАНОН

В тази тематика са включени 3 научни труда (17-19).*

Дехидрирането в газова фаза на циклохексанол до циклохексанон е важен индустриален процес, тъй като последният е междинен продукт при производството на капролактам. Разработени са нови катализатори, които са алтернатива на търговските, а също така са предложени и подходи за преодоляване на един от важните проблеми, свързани с агломерирание на Cu в търговските CuO-ZnO или CuO-MgO катализатори.

Получени са следните важни резултати:

- Предложен е метод на „хемосорбция-хидролиза“ за получаване на CuO/SiO₂ и CuO/Al₂O₃ катализатори, чрез които се формират финодисперсни и лесно редуцируеми медни йони и медни клъстери [Cu-O-Cu]_n, които водят до по-висока каталитична активност при дехидрогениране на циклохексанол поради тяхната стабилизация върху носителя (публикация 19).
- Разработени са модифицирани с желязо и/или титан мезопорести MCM-41 катализатори като алтернатива на Cu-съдържащите катализатори, които показваха висока активност за превръщане на циклохексанол поради оптималния баланс Брьонстедови/Люисови кисели центрове и формиране на стабилни Ti⁴⁺/Fe²⁺ редокс двойки (публикации 17, 18).

1.3. ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕ НА БИОМАСА ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ЦЕННИ ХИМИКАЛИ И ГОРИВА

* Номерацията на цитираната литература съответства на номерацията на научните трудове в списъка на публикациите, включени в конкурса

В тази тематика са включени 21 научни труда (33, 42, 44, 46-49, 52, 57- 59, 63-66, 68, 78, 79, 83, 89, 99, 100)*.

Изчерпването на изкопаемите горива и екологичните проблеми, свързани с тяхното използване, ни насочват към търсене на нови алтернативни източници на енергия и ценни химически съединения. **Отпадъчната биомаса е изключително атрактивен суровинен източник за получаване на химикали и биогорива**, а създаването на устойчиви и безотпадни технологии за нейното оползотворяване би допринесло за повишаване на конкурентоспособността на производства, базирани на кръгова икономика. Важен етап в създаването на тези технологии е разработването на ефективни наноразмерни катализатори, които са в основата на „зелената“ химия. Изследваните процеси включват превръщане на левулинова киселина, 5-хидроксиметилфурфурол и алкилфеноли, получени от биомаса, до ценни химикали и биогорива (левулинови естери, гама-валеролактон, фенол, 5-(t-бутоксиметил) фурфурол)

Получени са следните важни резултати:

- Чрез прилагане на подходяща процедура за синтез са получени наноразмерни сулфатирани метални оксиди (ZrO_2 , SnO_2), сулфатирани Zr-модифицирани KIL-2, сулфатирани Sn-модифицирани клиноптилолит, сулфонирани йерархични морденит и мезопорест силикат и полиоксометалат-модифицирани мезопорести силикати, които показаха висока активност и стабилност в реакция на естерификация на левулинова киселина и глицерол до естери с важно приложение като ценни химикали и биогорива (**публикации 33, 42, 44, 46, 52, 57, 58, 65, 78**).
- Разработена е процедура за получаване на йерархичен морденит чрез следсинтезна обработка с HF и NH_4F (**публикации 48, 49**). Установено е, че допълнителното импрегниране на получения йерархичен морденит с ZrO_2 води до получаване на катализатор с оптимално съотношение на Брьонстедови/Люисови кисели центрове за постигане на висока активност в реакция на естерификация на глицерол (**публикация 44**).
- При получаване на сулфатираните наноразмерени SnO_2 катализатори е установено формирането на каталитична фаза, която е описана за първи път и която се характеризира с висока активност в реакцията на естерификация на левулинова киселина (**публикация 52**).
- Разработена е двустъпкова следсинтезна процедура за модифициране със сулфонови групи на мезопорест SBA-15, който се характеризира с висока каталитична активност и стабилност в естерификация на глицерол и левулинова киселина (**публикации 57, 58**).
- Разработени са йерархичен Ni/Ru-ZSM-5 зеолит, Pt/ ZrO_2 , Cu-Ni/мезопорест силикат-зеолит и NiCo/зеолит от въглищна пепел, които показаха висока каталитична активност и селективност за превръщане на левулинова киселина, получена от отпадъчна биомаса, до гама-валеролактон (**публикации 59, 66, 89, 99**).

- Разработени са йерархични Ni/Ru-ZSM-5 и наноразмерни Ni/Ru-Beta зеолити, които показаха отлични каталитични резултати (активност, селективност и стабилност) за превръщане на алкилфеноли до важния за индустрията фенол (**публикации 79, 83**). Йерархичният ZSM-5 е получен чрез следсинтезна обработка с HF и NH₄F (**публикация 68**).
- Чрез хидриране на междинен продукт на Achmatowicz, получен от фурфурил алкохол, в присъствие на 10Ni1Pt/KIT-6, е постигнато 100% превръщане до пентан-1,2,5 триол. Процесът се отличава с това, че не протича хидрогенолиза на фурановия пръстен и се постига 100% селективност, както и с допълнителните предимства на зелената химия, вкл. и прилагане на технология без разтворители, която работи при атмосферно налягане (**публикация 63**).
- Предложена е реакция за окисление на 5-хлорометилфурфурал като алтернатива на реакцията на 5-хидроксиметилфурфуrol до 2,5-диформилфуран чрез оптимизация на приложените оксиданти, промотори и реакционни условия. Полученият 2,5-диформилфуран е използван като важен биовъзобновим източник за производство на нови полимери (**публикация 47**).
- Установени са условията за ефективно получаване на добавка за биогориво 5-(t-бутоксиметил) фурфуrol от 5-хидроксиметилфурфуrol (**публикация 64**).
- В началото на 2024 г. проф. Маргарита Попова със съавтори от своята група публикува в списание **Applied Catalysis B: с IF=22.1** и оглавяващо класацията в област **Engineering, Environmental** нова разработка (**публикация 100**) за получаване на фини химикали и водород чрез технология, прилагаща в пълна степен принципите на зелената химия чрез провеждане на процеса в **проточна система в течна фаза под налягане, с което се слага началото на ново направление в лабораторията**. В присъствие на Ni_xSn_y/Ce(Zr)O₂ катализатори процесът на реформинг на етилен гликол както при неутрални, така и при алкални условия благоприятства едновременно Cannizzaro диспропорциониране на етилен гликол до ценната гликолова киселина и получаване на водород (**публикация 100**).

1.4. УЛАВЯНЕ И ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕ НА CO₂

В тази тематика са включени 11 научни труда (70, 72, 76, 81, 84, 87, 91, 93, 95, 97, 98)*.

Устойчивият цикъл на CO₂ е важна предпоставка за постигане на нулеви въглеродни емисии. Улавянето и оползотворяването на въглероден диоксид (CCU) се смята за технологията, която ще помогне да се постигне климатична неутралност. Използването на CO₂ като суровина в директно химическо производство, вместо използването на изкопаеми ресурси, ще намали значително парниковите емисии. Този подход е в съответствие с Парижкото споразумение за климата от 2015 г. и усилията за ограничаване

на глобалното затопляне до под 2°C. Европейската зелена сделка, като част от дългосрочната стратегия на ЕС, има за цел да се справи с проблемите, свързани с изменението на климата, като елиминира нетните емисии на парникови газове до 2050 г., най-вече CO₂, чиито емисии достигат рекордното количество от 426 ppm през април 2024 г.

Получени са следните важни резултати за улавяне и оползотворяване на CO₂:

- Разработени са нови обработени с плазма зеолити от въглищна пепел, които са показали висок капацитет за улавяне на CO₂, достигайки 3.8 mmol/g (**публикации 70, 72, 76, 95**).
- Синтезирани са CeO₂, ZrO₂ и Ce-Zr композитни наночастици с висока специфична повърхност чрез хидротермален синтез. Получените материали са с висок адсорбционен капацитет за улавяне на CO₂ в суха и влажна среда и са показали висока стабилност в пет цикъла на адсорбция/десорбция. Сред изследваните материали Ce_{0.67}Zr_{0.33} показва най-висок адсорбционен капацитет за улавяне на CO₂ (3.7 mmol/g) (**публикация 98**).
- Пиперазинът е доказал своя по-висок капацитет за улавяне на CO₂ в сравнение с моноетаноламина, използван като адсорбент в класическите технологии от първо поколение. Използването на модифицирани с пиперазини твърди адсорбенти ще помогне да се преодолее ниската му разтворимост във вода, което ограничава използването му в течна фаза. Получен е нов модифициран с 1-метилпиперазин мезопорест MCM-48 силикат чрез разработена от нас лесна двуетапна процедура, за който е установен висок капацитет и висока селективност за адсорбция на CO₂ в присъствие на водни пари (4.4 mmol/g) (Схема 1). Лесната процедура за получаване и постигнатите високи степени на улавяне на CO₂, съчетани с висока селективност, лесно освобождаване на задържания CO₂ и възможността за многократното им използване, прави разработения адсорбент обещаващ материал за улавяне на CO₂ (**публикация 84**).

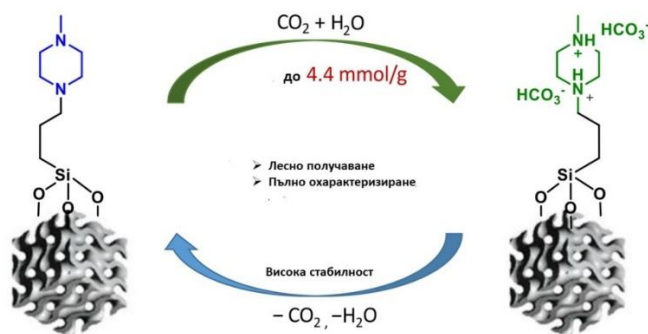


Схема 1. Улавяне на CO₂ върху модифициран с метил-пиперазин мезопорест силикат.

На основата на получените в лабораторни условия резултати за улавяне на CO₂ върху 1-метилпиперазин мезопорест MCM-48 силикат е предложена технология за улавяне на CO₂ върху модифицирани с пиперазини мезопорести силикати от индустриални

замърсители в рамките на стартирания проект: **Технология за улавяне на CO₂ от изгаряне на биомаса върху адсорбенти, получени от отпадъчни материали, CO₂Capture&WasteVal** по Механизма за възстановяване и устойчивост (МВУ), ПВУ-7 от 29.05.2024 г. /BG-RRP-2.011-0021-C01, 2024-2026. Научни изследвания и иновации, 2024-2026 г. В рамките на проекта ще бъде разработена прототипна система за улавяне на CO₂ с **ниво на технологична готовност 7**.

- Разработени са Ni- и Ru-модифицирани мезопорести ZSM-5 зеолити, които са използвани като високоактивни катализатори за оползотворяване на CO₂ чрез неговото хидриране до метан. Количеството на Ni и Ru и последователността на модификацията с два метала са от ключово значение за получаването на биметални катализатори с подходящи физико-химични характеристики. 10Ni5Ru/ZSM-5 катализаторът показва най-висока активност и висока селективност за образуване на метан, достигайки равновесна конверсия, 100% селективност при 400 °C, висока стабилност и добра рециклируемост (**публикация 93**).
- Разработени са катализатори на основата на дотирани с Mg Ni-Cu-, Ni-Co-модифицирани мезопорести силикати. Мезопорестите силикати, които са използвани като носители, са получени по разработена от нас процедура от оризови люспи (**полезен модел 4564/06.11.2023 г. (Приложение 9) и на заявка за патент, рег. номер 113766/13.09.2023 г., съвместно с ИП-БАН**). Процесът е проведен с използване на 3D принтирани катализатори чрез технология, приложена за първи път в България в рамките на изпълнение на проект 3DCatFuel&Chem под ръководството на проф. Маргарита Попова.

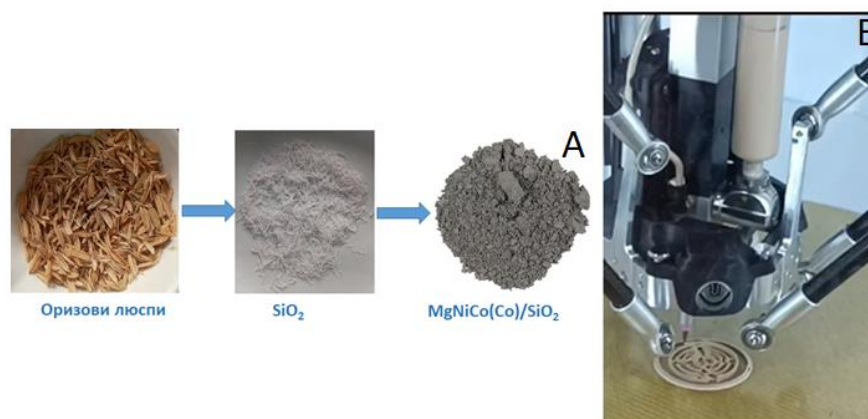


Схема 2. Получаване на катализатори на основата на оризови люспи (А) и 3D принтиране на получените катализатори (В)

2. ПРИНОСИ В РАЗРАБОТВАНЕТО НА ЛЕКАРСТВОДОСТАВЯЩИ СИСТЕМИ

В тази тематика са включени 33 научни труда (15, 21, 22, 25, 28, 32, 34-41, 43, 45, 50, 51, 53-56, 61, 62, 69, 71, 74, 75, 77, 82, 85, 88, 90).*

* Номерацията на цитираната литература съответства на номерацията на научните трудове в списъка на публикациите, включени в конкурса

Постигането на контрол върху свойствата на синтезираните от нас наноматериали позволи да насочим изследователските си интереси и към разработване на **ефективни наноносители на лекарствени вещества**. Разработването на лекарстводоставящи системи на основата на мезопорести силикати е ново и в световен мащаб направление (началото е през 2001 г.), което даде нов импулс на нашите изследователски търсения. Разработването на иновативни лекарствени системи с потенциално приложение в превенцията и терапията на различни заболявания на базата на хибридни наноразмерни композити предоставя възможност за подобряване на фармакокинетичните и биофармацевтичните параметри на лекарствената форма. Разработени са нови лекарстводоставящи системи на основата на мезопорести силикати, зеолити и композитни материали с модифицирано освобождаване, подобрена бионаличност и токсикологичен профил на противовъзпалителни и противотуморни лекарствени вещества.

Получени са следните важни резултати:

- Чрез насочен дизайн са получени мезопорести силикати и композити с различна структура, размер и морфология на частиците (SBA-16, SBA-15, SBA-16, MCM-41, KIT-6, ZSM-5/KIT-6, ZSM-5/SBA-15, зеолит Y, зеолит Beta), предложени са нови и оригинални процедури за модифициране на материалите с различни органични групи (амино, тиолни, сулфонови, карбоксилни и др.) и метални наночастици (цинк, сребро, магнезий и др.), за които е постигнато по-голямо натоварване на лекарствените вещества (до 40 тегл. %) в сравнение с традиционните носители, и контролирано освобождаване на ибупрофен, сулфадиазин, месалазин, индометацин, сулфасалазин, преднизолон, тамоксифен, милтефузин (**публикации 15, 21, 22, 25, 28, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 53, 54, 74, 75, 77**).
- Разработена е процедура за получаване на аминок-модифициран сферичен MCM-41 с размер на частиците 100 nm и сферичен SBA-15 с размер на частиците 5 μ m, които показват висок адсорбционен капацитет за ибупрофен и модифицирано освобождаване на натовареното лекарствено вещество. За първи път е предложена реакция с нинхидрин за количествено определяне на първични амини в хетерогенна фаза, което позволява да се оптимизира степента на модификация на мезопорести силикати с аминок-групи (**публикации 15 с 153 цитата, 21**).
- Разработена е нова процедура за модифициране на мезопорестите MCM-41 материали и SBA-15 с карбоксилни групи, като се използват „меки“ условия, съчетани с по-малко токсични реагенти. Чрез включването им в мезопорести композити е постигната подобрена разтворимост на трудноразтворими лекарствени вещества, както и *in situ* получаване на нови лекарствени вещества в порите на носителя (**публикация 22**).
- Чрез изграждане на (полиелектролитен) полимерен слой около наночастици преди и след натоварване с лекарствени вещества е постигнато тяхното селективно доставяне под действието на външен стимул (pH, температура, ензими, магнитно поле),

позволяващо да се осигури необходимата терапевтична доза до целевия орган или тъкан. Разработени са лекарстводоставящи системи на основата на носители, съдържащи мезопорести силикати и полимери, реагиращи на външен стимул, за контролирано и целево доставяне на противовъзпалителни лекарствени вещества (индометацин, бедезонит, месалазин, митоксантрон, преднизолон, сулфасалазин, тамоксифен, милтефузин) (**публикации 25, 28, 36, 40, 53, 54, 75, 77, 85**).

- Предложено е иновативно решение за намаляване на нежеланите странични ефекти и постигане на целево доставяне и контролирано освобождаване на лекарствени вещества с дразнещо или токсично действие. За тази цел са разработените нови модифицирани композити, изградени от магнитни и силикатни наночастици със сферична морфология, контролиран размер 80-300 nm, обвити с полимерен слой или с прикачени полимерни вериги, които са особено подходящи при терапия с противотуморни лекарствени вещества (митоксантрон, милтефузин, тамоксифен) (**публикации 57, 75, 77**).
- Предложена е нова процедура за натоварване на слабо разтворими лекарствени вещества чрез реакция в твърда фаза като много ефективен метод за подобряване на разтворимостта им и за първи път са разработени дермални системи с *in situ* получаване на лекарственото вещество в порите на зеолити или мезопорести силикати (сулфадиазин и Ag сулфадиазин) (**публикации 37-39**). За първи път е показано, че Ag сулфадиазин може ефективно да бъде *in-situ* формиран чрез нанасяне на сулфадиази в Ag-MCM-41, Ag-SBA-15 и AgY материали, значително подобрявайки неговата водоразтворимост и антимикробни свойства (**публикации 37, 38**).
- Получени са системи с природни флавоноиди (ресвератрол, кверцетин, куркумин, морин, хесперетин, капсаицин и др.) с подобрена разтворимост на базата на следните носители: NH₂-KIL-2 NH₂-KIT-6, Mg-MCM-41, Mg(Ag)-SBA-16, Ag-MS и зеолит Y (**публикации 32, 34, 41, 43, 50, 55, 56, 61, 71, 82, 88, 90**), като за първи път са наблюдавани комплекси на флавоноиди с метални йони от повърхността на силикатни носители (MCM-41, SBA-16, SBA-15) (**публикации 41, 43, 50, 71, 82, 88**).
- За първи път е показано, че модифицираните със сребро MCM-41 и SBA-15 материали са подходящи носители за прополис в доставящи системи с подобрена разтворимост и антимикробна активност на използвания прополис (**публикация 51**).
- Разработена е доставяща система на верапамил на основата на бимодални мезопорести ZSM-5/SBA-15 и ZSM-5/KIT-6 нанокомпозити, модифицирани с -SO₃H и -COOH групи, притежаващи положителна модулация на ефлуксната помпа (**публикация 62**).
- Разработена е система за доставяне на две лекарствени вещества - антитуморното лекарство митоксантрон и противовъзпалителното лекарство преднизолон, натоварени в материал, изграден от магнитни наночастици, вградени в силикатни наночастици със сферична морфология с размери на частиците около 100 nm и висока специфична повърхност ($> 800 \text{ m}^2/\text{g}$), и функционализиран със сулфонови

групи. Натоварването на преднизолон върху формулировката, покрита с хитозан, и изграждане на второто полимерно покритие с алгинат благоприятно повлиява скоростта на освобождаване на митоксантрон и преднизолон. Установено е запазване на цитотоксичността на натоварения противотуморен агент митоксантрон в разработената система (**публикация 53**).

Представените резултати показват неограничените възможности за приложение на порестите наноструктурирани материали, от адсорбенти и катализатори, използвани в процеси с важно значение за екологията и индустрията до материали, използвани като носители на лекарствени вещества.