

## АДСОРБЦІЯ КОМПЛЕКСІВ ЦИС-ДИХЛОРДІАМІНПЛАТИНИ НАНОРОЗМІРНИМ ПІРОГЕННИМ КРЕМНЕЗЕМОМ

О.М. Камінський<sup>1</sup>, Н.В. Кусяк<sup>1</sup>, А.Л. Петрановська, С.П. Туранська, П.П. Горбик

*Інститут хімії поверхні ім. О. О. Чуйка Національної академії наук України,  
вул. Генерала Наумова, 17, Київ 03164, Україна*

*<sup>1</sup>Житомирський державний університет ім. Івана Франка  
вул. В.Бердичівська, 40, Житомир 10008, Україна*

*Досліджено адсорбцію комплексів цис-дихлордіамінплатини нанорозмірним пірогенним кремнеземом. Побудовані ізотерми та вивчена кінетика адсорбції в перерахунку на катіони  $Pt^{2+}$ . Показана перспективність використання нанорозмірного кремнезему і його модифікованих форм для створення адсорбентів комплексів цис-дихлордіамінплатини, зокрема, медико-біологічного призначення.*

### Вступ

Проблема захисту довкілля, розвиток промислових технологій, медицини, біології та біотехнології стимулюють пошук і впровадження в практику нових адсорбентів і адсорбційних процесів [1–4]. Використання нанотехнологій, хімічного модифікування і функціоналізації поверхні дозволяє в широких межах керувати властивостями адсорбційних матеріалів та забезпечити можливість їх експлуатації в різних фізичних, хімічних і біологічних умовах [5–16]. Однак, як свідчать літературні дані, актуальним завданням залишається розробка ефективних адсорбентів іонів і комплексів благородних металів, зокрема платини, як одного з дорогоцінних металів, збір і концентрування якого з технологічних відходів є економічно вигідним [17].

Платина використовується для виготовлення медичних препаратів цитотоксичної дії, що застосовуються майже в усіх схемах сучасної онкотерапії. В наш час найбільшого застосування в онкології набули протипухлинні препарати на основі цис-дихлордіамінплатини, лікарські форми яких серійно випускаються промисловістю у вигляді ліофілізатів та розчинів.

Протипухлинна дія цис-дихлордіамінплатини пов'язана зі здатністю до біфункціонального алкілування ланцюгів ДНК, що приводить до пригнічення біосинтезу нуклеїнових кислот і апоптозу клітин. У початковій фазі період напіввиведення лікарського препарату з крові  $\tau_{1/2}$  складає 20 – 50 хв, в кінцевій фазі при нормальній видільній функції нирок 58 – 73 год, при анурії – 240 год. За 5 діб нирками виводиться 27 – 43% цис-дихлордіамінплатини, платину можна виявити в тканинах протягом 4 місяців після введення [18, 19].

Оскільки терапія препаратами цис-дихлордіамінплатини призводить до виникнення гострих токсико-алергічних реакцій, особливої актуальності набуває пошук шляхів ефективною адсорбційною детоксикації організму. Актуальними також залишаються розробки перспективних сорбційних технологій вилучення платини з лікарських засобів, що втратили придатність, виробничих та технологічних відходів.

Важливим досягненням вітчизняної науки є створення асортименту адсорбційних матеріалів різного функціонального призначення на основі нанорозмірного кремнезему і його модифікованих форм та технологій їх промислового виробництва. Зокрема, в Інституті хімії поверхні НАН України під керівництвом академіка НАН України О.О. Чуйка створено медичний препарат сорбційної дії

«Силікс» (аналоги – «Силард», «Силард–П») [20].

Препарат «Силікс» є фракцією високодисперсного діоксиду кремнію, належить до фармакологічної групи ентеросорбентів, зв'язує та виводить з організму токсини екзогенного та ендогенного походження, харчові і бактеріальні алергени, мікробні ендотоксини, токсичні продукти процесів гниття білків у кишечнику. Сприяє транспорту з внутрішнього середовища організму (кров, лімфа, інтерстицій) в шлунково-кишковий тракт (за рахунок концентраційних та осмотичних градієнтів) різноманітних токсичних молекул, олігопептидів, амінів та інших речовин з наступним виведенням їх з організму [21].

Метою цих досліджень було вивчення адсорбції комплексів *цис*-дихлордіамінплатини пірогенним нанорозмірним кремнеземом ( $\text{SiO}_2$ ) та встановлення перспективності використання нанорозмірного кремнезему і нанокompозитів на його основі для створення адсорбентів *цис*-дихлордіамінплатини, зокрема, медико-біологічного призначення.

### Експериментальні зразки і методики

Завдання роботи полягало в дослідженні адсорбційних властивостей нанорозмірного  $\text{SiO}_2$  стосовно комплексів *цис*-дихлордіамінплатини. Вибір кремнезему зумовлений його неорганічною природою, унікальними фізико-хімічними властивостями, прийнятною біосумісністю, накопиченим досвідом у галузі модифікування поверхні, застосуванням у різних галузях медицини, можливістю налагодження промислового впровадження адсорбентів на основі нанорозмірного  $\text{SiO}_2$ .

Для досліджень використано пірогенний нанорозмірний кремнезем марки А-300 виробництва Калуського дослідно-експериментального заводу Інституту хімії поверхні НАН України, який є субстанцією для виробництва медичного препарату «Силікс», асортименту його похідних (силоглокан, фітосилікс, лізосил, лізетокс, флотоксан тощо) та виривується в інших галузях промисловості. Так, немодифіковані пірогенні кремнеземи можна безпосередньо застосовувати як високоякісні наповнювачі при виготовленні гум, пластмас, штучної шкіри, як згущувачі рідин (фарби, консистентні мастила, клеї, герметики та ін.), в якості носіїв активних речовин (медицина, парфюмерія), антизлежувачів сипучих матеріалів, а також в радіоелектроніці, текстильній промисловості тощо.

Питома поверхня високодисперсного кремнезему складала  $S \sim 280 \text{ м}^2/\text{г}$ , концентрація функціональних груп  $-\text{ОН}$  становила  $\sim 7 - 9,5 \text{ мкмоль}/\text{м}^2$ . Дослідженнями морфології виявлено відсутність пористості первинних частинок та їх схильність до агрегації і агломерації [15, 20].

Для дослідження впливу модифікування поверхні пірогенного кремнезему на процеси адсорбції комплексів *цис*-дихлордіамінплатини синтезовано та досліджено нанокompозити  $\text{SiO}_2/\text{мезо-2,3-димеркаптосукцинова кислота}$  (ДМСК). ДМСК використовують у медичній практиці (лікування отруень) [16]. Покриття наночастинок, створені на основі ДМСК, містять як тіольні, так і карбоксильні групи, які використовують для ковалентного приєднання сенсорних молекул і лікарських препаратів [3].

Модифікування поверхні наночастинок кремнезему ДМСК проводили суспендуванням наважки (50 мг)  $\text{SiO}_2$  у толуолі (20 мл) з такою ж кількістю ДМСК, розчиненою у 20 мл диметилсульфоксиду. Реакцію проводили при кімнатній температурі протягом 24 год. Отриману реакційну суміш центрифугували, осад промивали етанолом, дистильованою водою та висушували на повітрі.

Біосумісність вихідного нанорозмірного кремнезему та нанокompозитів  $\text{SiO}_2/\text{ДМСК}$  оцінювали дослідженням їх впливу на життєздатність клітин хлібопекарських дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, яка становила 98 – 99 %.

Адсорбцію на поверхні нанорозмірного кремнезему та нанокompозитів SiO<sub>2</sub>/ДМСК здійснювали з розчинів *цис*-дихлордіаміноплатини у фізіологічній рідині. Розрахунки адсорбційної ємності наноструктур та концентрації розчинів проводили за вмістом іонів Pt<sup>2+</sup>.

Розчини *цис*-дихлордіаміноплатини готували в діапазоні концентрацій Pt<sup>2+</sup> від 10 до 200 мг/л. Адсорбцію здійснювали у динамічному режимі при рН = 7,1 при кімнатній температурі. До 0,1 г сорбенту додавали 30 мл розчину *цис*-дихлордіаміноплатини і струшували протягом 3 год на шейкері, потім розчин відфільтровували.

Адсорбційну ємність на поверхні вихідного та модифікованого кремнезему визначали вимірюванням концентрації за іонами Pt<sup>2+</sup> в розчинах до і після адсорбції із застосуванням атомно-абсорбційного аналізу за допомогою спектрофотометра С-115М у полум'яній суміші ацетилен – повітря. Вимірювання проводили при довжині хвилі 265,7 нм.

Ємність сорбенту  $A$  (мг/г) розраховували за формулою

$$A = (C_0 - C_p) \cdot V / m,$$

де  $C_0$  і  $C_p$  – концентрації вихідного розчину та розчину після сорбції (мг/л),  $V$  – об'єм розчину (л),  $m$  – наважка сорбенту (г). За одержаними результатами побудовані ізотерми адсорбції та обчислені параметри, що характеризують адсорбцію за рівнянням Ленгмюра.

Коефіцієнти розподілу  $E$  (л/г) іонів Pt<sup>2+</sup> між поверхнею нанокompозиту та розчином розраховували за формулою  $E = A / C_p$ , ступінь вилучення  $R$  – за формулою  $R, \% = [(C_0 - C_p) / C_0] \cdot 100$ .

### Результати та обговорення

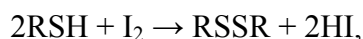
ДМСК приєднується до SiO<sub>2</sub> шляхом утворення зв'язку карбоксильної групи з гідроксильною групою поверхні кремнезему. Одержаний золь наночастинок SiO<sub>2</sub>, покритих ДМСК, є стабільним у межах рН 3 – 11, у водних та фосфатних буферних системах агрегації не спостерігалось. Міжмолекулярні дисульфідні зв'язки поверхнево зв'язаної ДМСК підвищують стабільність покриття.

Наявність ДМСК та утворення оболонки на поверхні нанодисперсного кремнезему підтверджено ІЧ-фур'є спектрометричними дослідженнями (фур'є-спектрометр "Perkin Elmer", модель 1720X) в діапазоні 400 – 4000 см<sup>-1</sup> та методами рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (електронний спектрометр ЕС- 2402 з енергоаналізатором РНОІВОС-100-SPECS).

У спектрі нанокompозиту SiO<sub>2</sub>/ДМСК спостерігаються три основні групи смуг при ~550, ~1490 – 1442 і 2500 см<sup>-1</sup>, які характеризують, відповідно, зв'язки S–S, C=O та S–H ДМСК-покриття на поверхні кремнезему, а також смуги поглинання 1110 – 1020 см<sup>-1</sup>, що відповідають валентним коливанням зв'язку S–O поверхні SiO<sub>2</sub> (рис. 1).

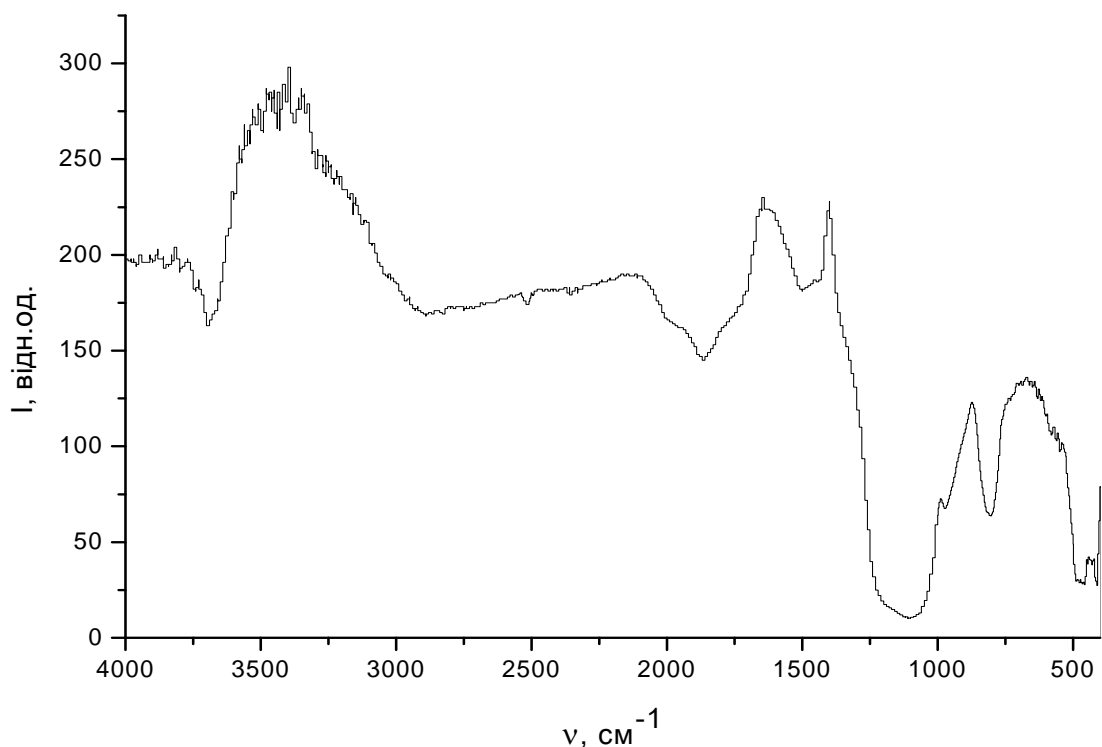
Наявність тиольних функціональних груп ДМСК на поверхні кремнезему підвищує стійкість та міцність покриття за рахунок утворення дисульфідних міжмолекулярних містків і полімеризації первинного адсорбційного шару.

Методом титрування (Кімбола–Крамера–Ріда), який ґрунтується на реакції



встановлено, що вміст груп SH в нанокompозитах складає 5,17 ммоль/г. При  $S_{\text{пт.}} = 280$  м<sup>2</sup>/г вихідного кремнезему вміст груп SH становив 18,5 мкмоль/м<sup>2</sup>.

Дослідження процесів адсорбції *цис*-дихлордіаміноплатини проводили на наноструктурах з різними поверхнями: SiO<sub>2</sub> (нанодисперсний кремнезем) та ДМСК (нанокompозити SiO<sub>2</sub>/ДМСК).



**Рис. 1.** ІЧ - фур'є спектр нанокompозиту SiO<sub>2</sub>/ДМСК.

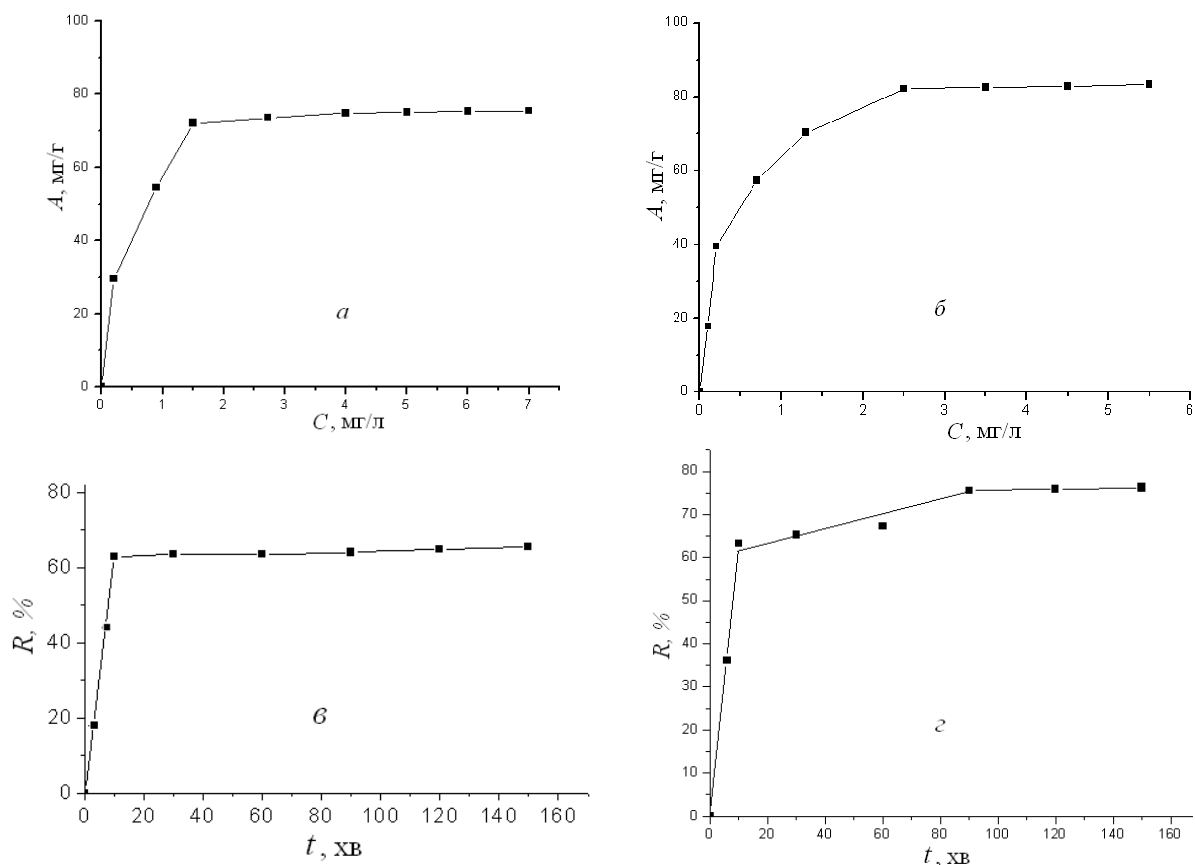
Одержані результати (рис. 2) свідчать про залежність адсорбційної ємності досліджених зразків щодо комплексів *цис*-дихлордіамінплатини від природи їх поверхні. З експериментальних даних видно, що зростання рівноважної концентрації *цис*-дихлордіамінплатини призводить до адсорбційного насичення моношару поверхні адсорбентів. Така форма ізотерм може бути описана рівнянням Ленгмюра, яке справедливе для поверхонь з енергетично еквівалентними адсорбційними центрами.

Відмітимо значну адсорбційну активність нанорозмірного немодифікованого кремнезему. Так, для нанодисперсного SiO<sub>2</sub> при 298 К максимальна адсорбційна ємність  $A_{max} = 75,1$  мг/г (рис. 2, а), ступінь вилучення ( $R$ , %) становить 65,5% (рис. 2, в).

Модифікування поверхні кремнезему ДМСК змінює його адсорбційні показники щодо комплексів *цис*-дихлордіамінплатини. Поява на поверхні SiO<sub>2</sub> тиольних функціональних груп після модифікування *мезо*-2,3-димеркаптосукциновою кислотою збільшує адсорбційну ємність структури. Для SiO<sub>2</sub>/ДМСК  $A_{max} = 80,2$  мг/г (рис. 2, б), а ступінь вилучення досягає 74,4% (рис. 2, г). Ці функціональні групи підвищують іммобілізацію *цис*-дихлордіамінплатини на поверхні композиту.

Кінетичні дослідження свідчать про швидку адсорбцію *цис*-дихлордіамінплатини на поверхні SiO<sub>2</sub>, що характерно для непористих адсорбентів (рис. 2, в). Основна частина *цис*-дихлордіамінплатини на поверхні нанокompозитів Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ДМСК адсорбується за 20 – 80 хв (рис. 2, в). Це може бути пов'язано з особливостями структури поверхні ДМСК і фізико-хімічної взаємодії комплексів з її активними центрами.

Результати досліджень адсорбції *цис*-дихлордіамінплатини на поверхні досліджених наноструктур наведені в табл. 1, вони одержані при максимальній концентрації вихідного розчину  $C_0 = 200$  мг/л і наважці 0,1 г.



**Рис. 2.** Ізотерми адсорбції *цис*-дихлордіамінплатини нанорозмірним SiO<sub>2</sub> (а), наноконкомпозитом SiO<sub>2</sub>/ДМСК (б); кінетика вилучення комплексів нанорозмірним SiO<sub>2</sub> (в), наноконкомпозитом SiO<sub>2</sub>/ДМСК (г).

**Таблиця 1.** Параметри адсорбції *цис*-дихлордіамінплатини наноструктурами SiO<sub>2</sub> та SiO<sub>2</sub>/ДМСК

Тип наноструктури	Адсорбційна ємність <i>A</i> , мг/г	Коефіцієнт розподілу <i>E</i> , л/г	Ступінь вилучення <i>R</i> , %
SiO <sub>2</sub>	75,10	2,50	65,50
SiO <sub>2</sub> /ДМСК	80,20	4,41	74,40

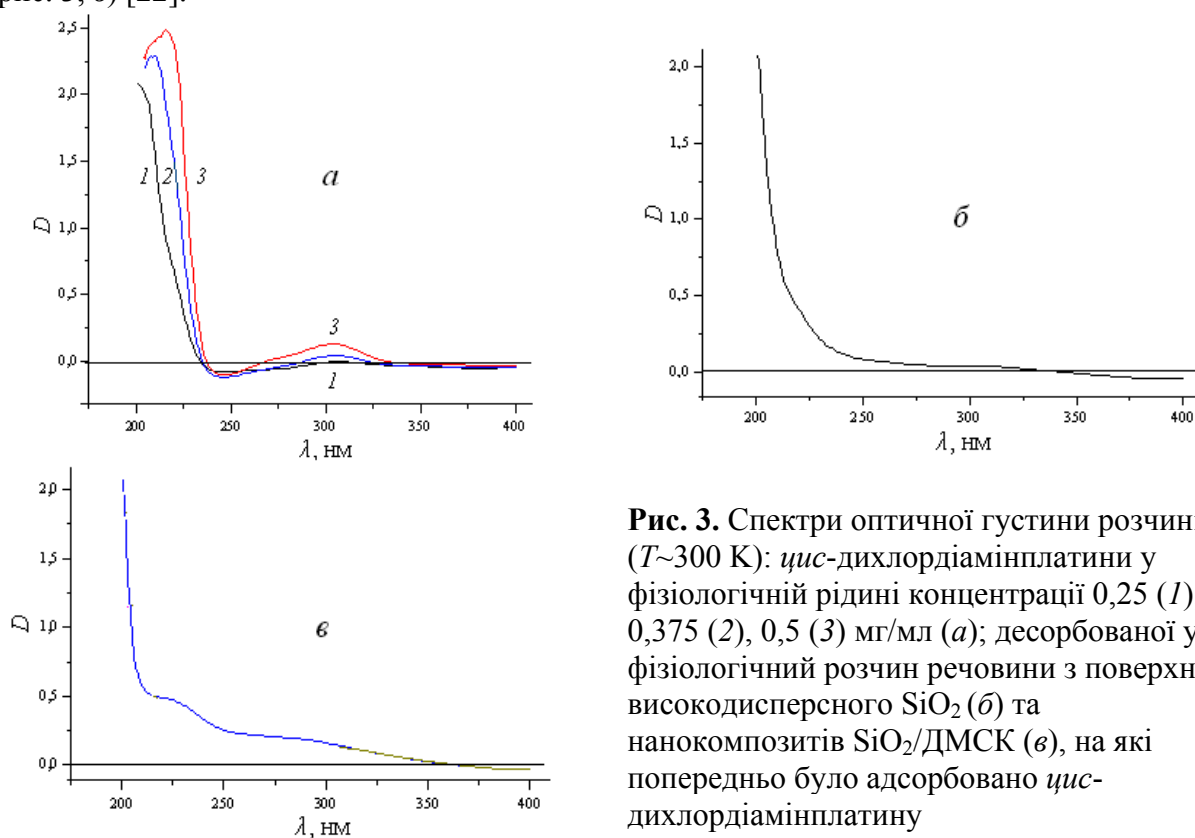
Видно, що при модифікуванні поверхні кремнезему мезо-2,3-димеркаптосукциновою кислотою коефіцієнт розподілу майже вдвічі перевищує відповідну величину немодифікованої поверхні кремнеземного адсорбенту, що відображає зсув рівноваги в бік іммобілізації речовини на поверхні і свідчить про активну участь введених функціональних груп –SH.

Таким чином, кращі адсорбційні параметри спостерігаються у наноконкомпозитів SiO<sub>2</sub>/ДМСК. Механізм адсорбції комплексів *цис*-дихлордіамінплатини на поверхні синтезованих наноструктур буде уточнюватися пізніше, однак зауважимо, що це може бути пов'язано, зокрема, з наявністю груп –SH на поверхні наноконкомпозиту та їх більш високою концентрацією у порівнянні з концентрацією груп –OH на поверхні вихідного кремнезему. Як відомо, наявність гідроксильних або тіольних груп на поверхні наноструктур може зумовлювати механізми адсорбції, пов'язані з іонним обміном та комплексоутворенням [15].

Відомо, що хелати всіх димеркаптохелатуючих агентів утворюються при

координуванні обох атомів сірки з металом або металоїдом [16]. Наприклад, експериментами з використанням ЯМР і ІЧ-спектрометрії в поєднанні з потенціометричним титруванням суспензій ДМСК встановлено, що іони  $Pb^{2+}$  чи  $Cd^{2+}$  координуються з одним атомом сульфуру та одним атомом кисню мезо-ДМСК. З іншого боку,  $Hg^{2+}$  або  $Ni^{2+}$  координуються з кожним з двох атомів сульфуру. Ділянка координування мезо-ДМСК залежить від типу координуючого іона металу.

Адсорбцію саме комплексів *цис*-дихлордіамініплатини на поверхні наноструктур  $SiO_2$  та  $SiO_2/ДМСК$  підтверджено експериментальними спектральними методами та дослідженнями цитотоксичності адсорбованої речовини на клітинних лініях. На рис. 3 наведені спектри оптичної густини, в яких інтенсивна смуга у діапазоні 200 – 230 нм та слабка смуга при 250 – 350 нм є характерними ознаками наявності в розчинах *цис*-дихлордіамініплатини [22]. «Від'ємні» значення у спектральному відгуку досліджених зразків можуть свідчити про утворення аквакомплексів та багатостадійний характер гідролізу *цис*-дихлордіамініплатини. У випадку структур  $SiO_2/ДМСК$ , крім того, можлива хімічна взаємодія *цис*-дихлордіамініплатини з групами  $-SH$  модифікованої ДМСК поверхні кремнезему, на що вказує виникнення смуги в області 220 – 250 нм (рис. 3, в) [22].



**Рис. 3.** Спектри оптичної густини розчинів ( $T \sim 300$  К): *цис*-дихлордіамініплатини у фізіологічній рідині концентрації 0,25 (1), 0,375 (2), 0,5 (3) мг/мл (а); десорбованої у фізіологічний розчин речовини з поверхні високодисперсного  $SiO_2$  (б) та нанокompatитів  $SiO_2/ДМСК$  (в), на які попередньо було адсорбовано *цис*-дихлордіамініплатину

Відомо [23], що основною мішенню терапевтичної дії цисплатини є ДНК. Згідно з класичним механізмом цитотоксичної активності препаратів платини гідроліз *цис*-дихлордіамініплатини є необхідною і лімітуючою стадією для пошкодження більшості біомолекул [24] (за винятком деяких сірковмісних [25]).

Експериментальними дослідженнями [3] встановлено, що наноструктури з силосановими поверхнями, на які адсорбовано *цис*-дихлордіамініплатину, виявляють значну цитотоксичність стосовно клітинних ліній раку молочної залози людини MCF-7.

Наведені дані свідчать про перспективність використання нанорозмірного кремнезему і нанокompatитів на його основі для створення адсорбентів *цис*-дихлордіамініплатини, зокрема, медико-біологічного призначення. Крім того, отримані

результати можуть бути корисними для обґрунтування використання препарату «Силікс» в онкології, наприклад з метою детоксикації організму при гострих токсико-алергічних реакціях на препарати платини.

## Висновки

На основі пірогенного нанорозмірного кремнезему, отриманого за вітчизняною промисловою технологією, який є субстанцією для виробництва медичного препарату «Силікс» та його похідних, синтезовано нанокompозити  $\text{SiO}_2/\text{ДМСК}$  та досліджено адсорбцію комплексів *цис*-дихлордіамінплатини на поверхнях  $\text{SiO}_2$  та ДМСК. Ізотерми та кінетичні криві характеризуються насиченням, а значення величин адсорбційної ємності та коефіцієнта розподілу вказують на вплив хімічної природи поверхні на адсорбцію комплексів *цис*-дихлордіамінплатини. Результати досліджень свідчать про перспективність використання пірогенного нанорозмірного кремнезему та нанокompозитів  $\text{SiO}_2/\text{ДМСК}$  як адсорбентів комплексів *цис*-дихлордіамінплатини медико-біологічного та технічного призначення і можуть стати основою для розширення функціонального застосування препарату «Силікс».

## Література

1. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. Пер. с англ., 2-е изд. – М.: Мир, 1984. – 306 с.
2. Shpak A.P., Gorbyk P.P. Nanomaterials and Supramolecular Structures: Physics Chemistry, and Applications. – Springer, 2009. – 420 p.
3. Шпак А.П., Чехун В.Ф., Горбик П.П., Туров В.В. Наноматериалы и нанокompозиты в медицине, биологии, экологии. – Киев: Наукова думка, 2011. – 444 с.
4. Горбик П.П., Горобец С.В., Турелик М.П. и др. Биофункционализация наноматериалов и нанокompозитов. – Киев.: Наукова думка, 2011. – 283 с.
5. Ю. И. Тарасевич. Поверхностные явления на дисперсных материалах. – Київ : Наукова думка, 2011. – 390 с.
6. Дрогобужская С.В. Извлечение благородных металлов из хлоридных растворов аминокислотным волокном АКВАПАН // Журнал прикладной химии. – 2008. – Т. 91, №8. – С. 1871–1877.
7. Афонин, М. В., Симанова С. А., Бурмистрова, Н. М. и др. Сорбционное извлечение хлорокомплексов платины (II) и платины (IV) гетероцепным серосодержащим сорбентом // Журнал прикладной химии. – 2008. – Т. 81, вып. 11. – С. 1816 – 1821.
8. Яновский Ю.Г., Данилин А.Н., Захаров А.П., Жогин В.А. Опытнo-конструкторские разработки портативного устройства для экстракорпоральной очистки биологических сред организма от токсинов и вирусов с использованием магниточувствительных нано- и микрочастиц // Альманах клинической медицины. – М.: III Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине». – 2008. – Т. XVII, ч. 2. – С. 293 – 296.
9. Міщенко В.М., Картель М.Т., Луценко В.А. та ін. Магніточутливі адсорбенти на основі активованого вугілля: синтез та властивості // Поверхность. Сб. науч. тр. – К. – Вып. 2 (17). – С. 276 – 285.
10. Колотилов С.В., Болговец П.Н., Снопко Б.А., Павлицук В.В. Наноразмерный магнитный композит для извлечения  $\gamma$ -иммуноглобулинов из биологических сред // Теоретическая и экспериментальная химия. – 2006. – Т. 42, № 4. – С. 204 – 209.
11. Семко Л.С., Хуторний С.В., Сторожук Л.П. та ін. Хімічне конструювання та дослідження властивостей магнітокероаних адсорбентів для екстракції нуклеїнових кислот // Поверхность. Сб. науч. тр. – К. – Вып. 2 (17). – С. 330 – 339.
12. Gorbyk P.P., Chekhun V.F. Nanocomposites of medicobiologic destination: reality and

- perspectives for oncology // *Functional materials*. – 2012. – V. 19, № 2. – P. 145 – 156.
13. Туранская С.П., Каминский А.Н., Кусяк Н.В. и др. Синтез, свойства и применение магнитоуправляемых адсорбентов // *Поверхность. Сб. науч. тр.* – К. – 2012. – Вып. 4(19). – С. 266 – 292.
  14. Кусяк Н.В., Камінський О.М., Петрановська А.Л., Горбик П.П. Адсорбція катіонів на поверхні нанорозмірного магнетиту // *Поверхность. Сб. науч. тр.* – К. – 2011. – Вып. 3(18). – С. 151 – 155.
  15. Химия поверхности кремнезема. Под редакцией Чуйко А.А. – Т. 1, ч. 1. – Киев, 2001. – 736 с.
  16. Aposhian H., Aposhian M.. Meso-2,3-Dimercaptosuccinic acid: Chemical, Pharmacological and Toxicological Properties of an Orally Effective Metal Chelating Agent // *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* – 1990. – V. 30. – P. 279 – 306.
  17. Асташкина О.В., Михалчан А.А., Симанова С.А., Лысенко А.А. Адсорбция ионов платины, палладия и золота углеродными нанотрубками, техническим углеродом и активированным углем. // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности.* – 2012. – Т. 17, № 3. – С. 40 – 43.
  18. Оборотова Н.А. Направленная доставка противоопухолевых препаратов // *Антибиотики и химиотерапия.* – 1991. – Т. 36, № 10. – С.47 – 50.
  19. Крис Е.Е., Волченкова И.И., Григорьева А.С. и др. Координационные соединения металлов в медицине. – К.: Наукова думка, 1986. – 216 с.
  20. Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния. Под ред. А.А. Чуйко. К.: Наукова думка, 2003. – 416 с.
  21. Інструкція для медичного застосування препарату СИЛІКС (SILICS). Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України 29.07.02 № 289. Реєстраційне посвідчення № р.07.02/05110.
  22. Скворцов А.Н. Эффективный метод анализа спектров оптического диапазона в исследованиях кинетики реакций // *Цитология.* – 2009. – Т. 51, №3. – С. 229 – 238.
  23. Bruijninx P.C., Sadler P.J. New trends for metal complexes with anticancer activity // *Curr. Opin. Chem. Biol.* – 2008. – V. 12. – P. 197 – 206.
  24. Jamieson E.R., Lippard S.J. Structure, recognition and processing of cisplatin-DNA adducts // *Chem. Rev.* – 1999. – V. 99. – P. 2467 – 2498.
  25. Berners-Price S.J., Appleton T.G., Gahan L.R. et al. Reactions of cisplatin hydrolytes with methionine, cysteine, and plasma ultrafiltrate studied by a combination of HPLC and NMR techniques // *J. Inorg. Biochem.* – 1999. – V. 77. – P. 13 – 21.



## АДСОРБЦИЯ КОМПЛЕКСОВ ЦИС-ДИХЛОРОДИАМИНПЛАТИНЫ НАНОРАЗМЕРНЫМ ПИРОГЕННЫМ КРЕМНЕЗЕМОМ

А.Н. Каминский<sup>1</sup>, Н.В. Кусяк<sup>1</sup>, А.Л. Петрановская, С.П. Туранская, П.П. Горбик

*Институт химии поверхности им. А. А. Чуйко Национальной академии наук Украины,  
ул. Генерала Наумова, 17, Киев 03164, Украина*

*<sup>1</sup>Житомирский государственный университет им. Ивана Франко,  
ул. Б. Бердичевская, 40, Житомир 10008, Украина*

*Исследована адсорбция комплексов цис-дихлордиаминплатины наноразмерным пирогенным кремнеземом. Построены изотермы и изучена кинетика адсорбции в пересчете на катионы Pt<sup>2+</sup>. Показана перспективность использования наноразмерного кремнезема и его модифицированных форм для создания адсорбентов комплексов цис-дихлордиаминплатины, в частности, медико-биологического предназначения.*

## ADSORPTION OF CIS-DICHLORODIAMINEPLATINUM COMPLEXES BY NANO-SIZED PYROGENIC SILICA

О.М. Kaminskiy<sup>1</sup>, N.V. Kussyak<sup>1</sup>, A.L. Petranovska, S.P. Turanska, P. P.Gorbyk

*Chuiiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine,  
17 General Naumov Str., 03164 Kyiv, Ukraine*

*<sup>1</sup>Ivan Franko Zhytomyr State University,  
40 V. Berdychevska Str., 10008 Zhytomyr, Ukraine*

*The investigation was carried out on adsorption of cis-dichlorodiamineplatinum complexes by the nano-sized pyrogenic silica. The adsorption isotherms and kinetics were studied in terms of Pt<sup>2+</sup> cations. The perspective was shown of using nano-sized silica and its modified forms for the creation of adsorbents of cis-dichlorodiamineplatinum complexes, in particular, for biomedical applications.*