

Корисна модель належить до хімічних способів одержання колоїдних розчинів (колоїдних систем), що містять як дисперсну фазу нанорозмірні частинки срібла, стійкість яких до агрегування забезпечується присутністю в зазначеному розчині стабілізуючих агентів. Технологічні процеси на основі технічного рішення, що пропонується, можуть бути використані в хімічній промисловості для одержання стабільних колоїдних розчинів наночастинок срібла (середній розмір $7,0 \pm 1,6$ нанометрів) сфероїдальної морфології.

Завдяки унікальним оптичним, електронним, антибактеріальним тощо властивостям наночастинок срібла як дисперсної фази колоїдних розчинів вони знайшли широке використання в різних галузях науки й техніки, таких, наприклад, як оптоелектроніка, фотоніка, каталіз, сенсорика, медицина (див., наприклад, Abhinav Sati, Tanvi N. Ranade, Suraj N. Mali, Haya Khader Ahmad Yasin, and Amit Pratap. Silver Nanoparticles (AgNPs): Comprehensive Insights into Bio/Synthesis, Key Influencing Factors, Multifaceted Applications, and Toxicity - A 2024 Update. ACS Omega. - 2025. - № 10. - P. 7549-7582).

Зважаючи на той факт, що ефективне застосування наночастинок срібла як дисперсної фази колоїдних розчинів в кожній з цих галузей можливе за умов дотримання до них певного комплексу вимог (таких, наприклад, як хімічний склад та/або дисперсність, та/або розподіл за розмірами, та/або морфологія тощо), для одержання колоїдних розчинів наночастинок срібла з бажаними характеристиками використовують різні способи (фізичні, хімічні, фотохімічні, біологічні та їх часткові варіанти).

Серед них хімічні способи є найбільш поширеними й підходящими для виробництва колоїдних систем (колоїдних розчинів) з різними розмірами наночастинок срібла. Їх зазвичай реалізують шляхом використання як складові процесу джерела іонів срібла, такого, наприклад, як нітрат срібла, відновника іонів срібла, таких наприклад як борогідрид натрію чи гідразин гідрат і агента, що стабілізує утворені в розчині наночастинок металевого срібла, такого, наприклад як тринатрійцитрат, та підбором оптимальних концентраційних, температурних і часових умов перебігу процесу (див., наприклад, Abhinav Sati, Tanvi N. Ranade, Suraj N. Mali, Haya Khader Ahmad Yasin, and Amit Pratap. Silver Nanoparticles (AgNPs): Comprehensive Insights into Bio/Synthesis, Key Influencing Factors, Multifaceted Applications, and - Toxicity_A 2024 Update. ACS Omega. - 2025. - № 10. - P. 7549-7582). Рідше - шляхом використання джерела іонів срібла й тільки однієї сполуки (наприклад тринатрійцитрату), що виконує функції як відновника іонів срібла, так і стабілізатора наночастинок срібла в розчині (завдяки, зокрема, здатності утворювати хелатні комплекси срібла, тобто виступати в ролі ліганду), та підбором зазначених оптимальних умов перебігу процесу (див., наприклад, P. Lundahl, R. Stokes, E. Smith, R. Martin, D. Graham. Synthesis and characterisation of monodispersed silver nanoparticles with controlled size ranges. Micro Nano Lett. - 2008. - № 3. - P. 62-65). Кожний з відомих хімічних способів має як свої переваги, так і недоліки, оскільки надзвичайно велика потреба в колоїдних розчинах нанорозмірного срібла в різних галузях науки й техніки актуалізує не тільки задачу стосовно досягнення певних розмірів і морфології наночастинок срібла як дисперсної фази зазначених розчинів, а також задачу щодо спрощення, збільшення економічності, екологічності та зручності процесів одержання таких розчинів.

Відомий спосіб одержання колоїдного розчину нанорозмірного срібла (див. Vera V. Pinto, Maria Josy Ferreira, Ricardo Silva, Helder A. Santos, F. Silva, Carlos M. Pereira. Long time effect on the stability of silver nanoparticles in aqueous medium: Effect of the synthesis and storage conditions. Colloids and Surfaces - A: Physicochem. Eng. Aspects. - 2010. - № 364. - P. 19-25), за яким використовують воду як розчинник, нітрат срібла - як джерело іонів срібла, борогідрид натрію - як відновник іонів срібла й тринатрійцитрат - як ліганд і стабілізуючий агент відновлених іонів срібла, змішують спочатку 50 мл розчину нітрату срібла з концентрацією 0,25 мМ з 50 мл розчину тринатрійцитрату з концентрацією 0,25 мМ та перемішують суміш розчинів протягом 30 секунд, потім швидко додають до перемішаної суміші розчинів 0,3 мл свіжоприготованого розчину борогідриду натрію з концентрацією 1 мМ та перемішують суміш розчинів протягом 60 секунд. При цьому процес синтезу проводять в темряві при дотриманні температури реакційних сумішей $23,0 \pm 2,0$ °C (див. там же, частковий варіант реалізації способу, с. 20, підрозділ 2.2 та с. 21, таблиця 1).

Цей спосіб (при зазначеному частковому варіанті його реалізації) дозволяє одержувати колоїдні розчини з дисперсною фазою у вигляді переважно сфероїдальних наночастинок срібла (приблизно 79 %) з середнім діаметром $5,0 \pm 1,6$ нм, що довгостроково, за умов зберігання в темряві при $4,0 \pm 2,0$ °C, демонструють стабільність (без зміни розмірної дисперсії наночастинок). Однак дисперсна фаза одержаних за цим способом колоїдних розчинів містить також чимало наночастинок срібла набагато більших розмірів і іншої морфології (стрижні та призми).

Найближчим аналогом є спосіб одержання колоїдного розчину нанорозмірного срібла (див. Shekhar Agnihotri, Soumyo Mukherji and Suparna Mukherji. Size-controlled silver nanoparticles synthesized over the range 5-100 nm using the same protocol and their antibacterial efficacy. RSC Adv. - 2014. - 4. - 3974-3983), за яким використовують воду як розчинник, нітрат срібла - як джерело іонів срібла, борогідрид натрію - як відновник іонів срібла, тринатрійцитрат - як ліганд і стабілізуючий агент відновлених іонів срібла та гідроксид натрію як регулятор pH реакційного середовища, змішують

спочатку розчини борогідриду натрію й тринатрійцитрату в таких пропорціях, щоб загальний об'єм суміші розчинів становив 48 мл, а концентрації борогідриду натрію й тринатрійцитрату в цій суміші становили $2,00 \times 10^{-3}$ і $3,55 \times 10^{-3}$ моль/л, відповідно, нагрівають суміш розчинів до 60°C і перемішують її у темряві при дотриманні цієї температури впродовж 30 хвилин до одержання однорідного розчину та при перемішуванні цього розчину додають по краплях до нього 2 мл розчину нітрату срібла з концентрацією $1,00 \times 10^{-3}$ моль/л, а потім підвищують температуру суміші до 90°C , доводять її рН до значення 10,5 за допомогою 0,1 молярного розчину гідроксиду натрію та перемішують суміш при дотриманні підвищеної температури впродовж 20 хвилин до зміни її кольору (див. там же, частковий варіант реалізації способу, с. 3975, підрозділ 2.2 та с. 3976, таблиця 1, друга строка зверху).

Цей спосіб (при зазначеному частковому варіанті його реалізації) дозволяє одержувати стабільні колоїдні розчини з дисперсною фазою у вигляді переважно сфероїдальних наночастинок срібла з середнім діаметром $7,0 \pm 1,3$ нм (біля 67,4 %). Однак для реалізації цього способу потрібні доволі тривалий час, додаткові енергетичні витрати й спеціальні умови, що знижує ефективність способу в разі його промислового використання.

В основу корисної моделі поставлено задачу шляхом цілеспрямованої заміни агента, що виконує роль ліганду відносно іонів срібла й стабілізатора відносно утворених наночастинок срібла, а саме - тринатрійцитрату на амінокислоту - гліцин (назва за IUPAC - 2-амінооцтова кислота, загально вживана міжнародна аббревіатура - Gly), зміни послідовності використання складових процесу одержання колоїдних розчинів нанорозмірного срібла, створення певних концентраційних, температурних, часових умов перебігу процесу та умов рН реакційного середовища створити передумови для одержання простим і економічним способом стабільних колоїдних розчинів, в яких як дисперсна фаза домінують сфероїдальні наночастинок срібла з середнім розміром $7,0 \pm 1,6$ нанометрів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі одержання колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології, за яким використовують як складові процесу синтезу кінцевого продукту воду як розчинник, нітрат срібла як джерело іонів срібла, борогідрид натрію як відновник іонів срібла, органічну сполуку, що містить карбоксильні групи й здатна утворювати координаційні зв'язки з іонами срібла, як ліганд і стабілізуючий агент відновлених іонів срібла та гідроксид натрію як регулятор рН реакційного середовища, послідовним змішуванням розчинів складових процесу з дотриманням фіксованих молярних співвідношень між ними, досягненням фіксованих значень рН і температури реакційного середовища та часових параметрів перебігу процесу створюють умови для утворення кінцевого продукту процесу синтезу, згідно з корисною моделлю використовують як ліганд і стабілізуючий агент гліцин, змішуванням розчинів нітрату срібла й гліцину у молярних співвідношеннях нітрат срібла:гліцин = 1:20, термостатуванням одержаної суміші розчинів при температурі $25 \pm 1^\circ\text{C}$, перемішуванням її до утворення однорідного розчину нітрату срібла й гліцину та додаванням до цього розчину при його перемішуванні й термостатуванні при зазначеній температурі розчину гідроксиду натрію до досягнення значення рН розчину 10 створюють спочатку умови для утворення переважно комплексу складу AgGly_2^- як цільового продукту хімічної реакції між нітратом срібла й гліцином, а потім додаванням до розчину цього комплексу при його перемішуванні й термостатуванні при зазначеній температурі охолодженого до температури $4 \pm 1^\circ\text{C}$ розчину борогідриду натрію у мольному співвідношенні нітрат срібла:борогідрид натрію = 1:6,9 та перемішуванням і термостатуванням при зазначеній температурі суміші розчинів до досягнення сталого значення її оптичної густини створюють умови для утворення кінцевого продукту процесу синтезу.

Очевидно, що використання такого підходу дозволяє створити на початковому етапі синтезу передумови для одержання простим і економічним способом спочатку переважно комплексу певного складу (AgGly_2^-) як продукту хімічної реакції між нітратом срібла й гліцином, який виступає в ролі прекурсора наночастинок срібла на кінцевому етапі синтезу - етапі його відновлення борогідридом натрію певної концентрації з одержанням стабільного колоїдного розчину нанорозмірного срібла з вузьким розподілом за розмірами.

Суть корисної моделі пояснюється прикладом визначення оптимальних, зазначених у формулі корисної моделі, умов, використання яких дозволяє одержати на початковому етапі синтезу переважно комплекс складу AgGly_2^- як цільовий продукт хімічної реакції між нітратом срібла й гліцином, що слугує прекурсором наночастинок срібла на кінцевому етапі (відновлення зазначеного прекурсора борогідридом натрію) та прикладом реалізації процесу одержання стабільного колоїдного розчину наночастинок срібла сфероїдальної морфології з середнім розміром 7 нм з використанням оптимальних концентраційних, температурних, часових умов перебігу процесу й умов рН реакційного середовища та прикладом використання одержаного продукту. Сутність технічного рішення пояснюється також фігурами, де зображено:

- діаграму розподілу іонів Ag^+ між комплексними частинками різного складу в розчині з мольним співвідношенням $\text{AgNO}_3:\text{Gly}=1:20$ (а) та 1:2 (б) залежно від рН розчину при температурі $25 \pm 1^\circ\text{C}$ (фіг. 1);

- спектр поверхневого плазмонного резонансу колоїдного розчину нанорозмірного срібла

сфероїдальної морфології, одержаного при мольному співвідношенні в реакційній суміші $\text{AgNO}_3:\text{NaBH}_4=1:6,9$ та рН цієї суміші 10 (фіг. 2);

- мікрофотографію нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології як дисперсної фази одержаного у спосіб, що заявляється, колоїдного розчину (фіг. 3);

- гістограму розподілу наночасток срібла, побудовану за програмою Karra image Base на основі дослідження мікрофотографії нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології (фіг. 4);

- залежність оптичної густини колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології від логарифму концентрації в ньому глутатіону (фіг. 5).

Приклад 1.

Визначення оптимальних умов одержання на початковому етапі синтезу переважно комплексу складу AgGly_2^- як цільового продукту хімічної реакції між нітратом срібла й гліцином

Як було зазначено, гліцин (далі - Gly) є лігандом, який залежно від мольного співвідношення AgNO_3/Gly у розчині та величини рН цього розчину може утворювати з іонами срібла комплекси різного складу, що характеризуються різними значеннями редокс-потенціалу й тому в присутності відновника здатні відновлюватись з різною швидкістю. Очевидно, що за умов присутності в розчині одночасно декількох комплексів срібла з гліцином і додавання до цього розчину відновника будуть утворюватись стабілізовані лігандом (Gly) наночастинки срібла різного розміру й, навпаки, за умов домінування в розчині комплексу певного складу і додавання до цього розчину певної кількості відновника можна одержати колоїдний розчин монодисперсних наночастинок срібла.

Оптимальні умови одержання на початковому етапі синтезу переважно комплексу одного складу як цільового продукту хімічної реакції між нітратом срібла й гліцином, що може бути використаний як прекурсор наночастинок срібла певного розміру на кінцевому етапі (етапі відновлення зазначеного прекурсора борогідридом натрію), визначали таким чином. Серію розчинів, кожний з яких відрізнявся мольним співвідношенням AgNO_3/Gly і значенням рН, але мав постійну температуру $25\pm 1^\circ\text{C}$, досліджували методом рН-потенціометричного титрування (вимірювання значення рН здійснювали на попередньо відкаліброваному за буферними розчинами лабораторному цифровому рН-метрі OP-211/1 (radelkis) зі скляним комбінованим електродом фірми Mettler Toledo, об'єм кожного розчину складав 25 мл, температура становила $25\pm 1^\circ\text{C}$, іонна сила була постійною за рахунок створення в кожному розчині 0,1М концентрації KNO_3). Обробкою кривих рН-потенціометричного титрування розчинів за програмою Hurequad визначали константи стійкості кожного комплексу срібла з гліцином, що може утворитись при певному співвідношенні AgNO_3 та Gly у розчині та певному значенні його рН при зазначеній температурі. Далі одержані константи стійкості комплексів срібла з гліцином використовували для побудови за програмою Species ряду діаграм розподілу іонів срібла між комплексними частинками різного складу залежно від рН розчину для різних сталих мольних співвідношень в ньому AgNO_3 та Gly. На підставі аналізу одержаних діаграм визначали, при якому мольному співвідношенні в розчині AgNO_3 і Gly та значенні рН розчину в ньому утворюється переважно комплекс срібла з гліцином певного складу.

На фіг. 1а представлено одну з діаграм, з якої видно, що тільки при мольному співвідношенні в розчині $\text{AgNO}_3:\text{Gly}=1:20$ та при досягненні значення рН розчину 10 в ньому домінує (96 %) комплекс складу AgGly_2^- , який у подальшому (на етапі відновлення борогідридом) може слугувати прекурсором наночастинок срібла. Для порівняння на фіг. 1б представлено діаграму, яка свідчить про те, що при інших мольних співвідношеннях в розчині між AgNO_3 і Gly (наприклад 1:2) та інших значеннях рН відсутні умови для переважного утворення комплексу срібла з гліцином одного складу.

Таким чином, необхідними умовами для утворення в розчині AgNO_3 і Gly при температурі $25\pm 1^\circ\text{C}$ переважно комплексу складу AgGly_2^- як прекурсора наночастинок срібла є мольне співвідношення між AgNO_3 і Gly у розчині 1:20 і значення рН розчину 10.

Приклад 2.

Визначення оптимального співвідношення між нітратом срібла й борогідридом натрію задля одержання колоїдних розчинів срібла сферичної форми й з вузьким розподілом за розмірами на кінцевому етапі синтезу.

Оптимальне співвідношення між AgNO_3 та NaBH_4 , при якому утворюються колоїдні розчини срібла сферичної форми й вузьким, розподілом за розмірами на кінцевому етапі синтезу визначали наступним чином. Готували серію розчинів однакового об'єму, мольне співвідношення між AgNO_3 і Gly в кожному з яких було 1:20, а значення рН кожного дорівнювало 10. Термостатували розчини при температурі $25\pm 1^\circ\text{C}$, а потім додавали до них невеликі однакові порції охолодженого до температури $4\pm 1^\circ\text{C}$ розчину NaBH_4 різних концентрацій і, таким чином, досягали у суміші розчинів різного співвідношення між AgNO_3 та NaBH_4 (1:1,15, 1:3,45 та 1:6,9 відповідно). Далі перемішували й термостатували при зазначеній температурі суміші розчинів до досягнення сталого значення їх оптичної густини й, відповідно, утворення колоїдних розчинів срібла. Переносили кожен суміш розчинів у кварцову оптичну кювету товщиною 1,00 см, розміщували кювету в комірці спектрофотометра Specord 210 (Analytic Jena) й записували для суміші спектр поверхневого плазмонного резонансу (ППР). Шляхом порівняння спектрів ППР (положень максимумів спектрів, їх

інтенсивностей, ширин смуг на їх піввисоті, визначених за програмним продуктом OriginPro 8.6), одержаних для всіх сумішей, вибирали той, що характеризується найвужчою смугою і максимальною інтенсивністю. Відповідно, за оптимальне співвідношення між AgNO_3 та NaBH_4 приймали те, при якому було одержано вибраний спектр. Спектр ППР, на підставі аналізу якого було обрано оптимальне співвідношення між AgNO_3 та NaBH_4 (1:6,9) наведено на фіг. 2.

Приклад 3.

Практична реалізація способу одержання колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології, що заявляється.

Для одержання колоїдного розчину нанорозмірного (середній розмір 7 нм) срібла сфероїдальної морфології використовували нітрат срібла кваліфікації "чда" (99,97 %, Reaxim), гліцин кваліфікації "чда" (Serva), борогідрид натрію (99,99 %, Aldrich), гідроксид натрію кваліфікації "чда" (Хімлаборреактив) та подвійно деіонізовану воду.

Готували свіжі водні розчини нітрату срібла концентрації $5 \cdot 10^{-3}$ М, гліцину концентрації $1 \cdot 10^{-2}$ М, борогідриду натрію концентрації $2,5 \cdot 10^{-2}$ М та гідроксиду натрію концентрації 0,268 М. У мірній колбі об'ємом 25 мл змішували 1 мл розчину нітрату срібла з 10 мл розчину гліцину, водою доводили об'єм суміші розчинів до мітки й переносили вміст колби у скляний стаканчик. Таким чином забезпечували мольне співвідношення між нітратом срібла й гліцином у суміші 1:20.

Термостатували перенесену суміш розчинів при температурі 25 ± 1 °С і перемішували її до утворення однорідного розчину нітрату срібла й гліцину, після чого, не припиняючи перемішування й термостатування при зазначеній температурі, додавали скляною паличкою до утвореного розчину розчин гідроксиду натрію до досягнення рН розчину в стаканчику 10 (контроль за величиною рН здійснювали за допомогою лабораторного цифрового рН-метра ОР-211/1 (Radelkis)).

Додавали до підлученого розчину в стаканчику при його перемішуванні й термостатуванні при зазначеній температурі 1,38 мл охолодженого до температури 4 ± 1 °С розчину борогідриду натрію й, таким чином, забезпечували мольне співвідношення між нітратом срібла й борогідридом натрію у суміші 1:6,9.

Перемішували і термостатували при зазначеній температурі суміш розчинів у стаканчику до досягнення сталого значення її оптичної густини, яку фіксували за допомогою спектрофотометра Specord 210 (Analytic Jena), та, відповідно, утворення колоїдного розчину нанорозмірного срібла.

Щоб визначити, наночастинки яких розмірів переважно утворилися в одержаному колоїдному розчині й який їх %-ний вміст у цьому розчині, краплю колоїдного розчину наносили на вуглецеву підкладку, висушували колоїдний розчин на підкладці до повного вилучення з нього дисперсійного середовища (води) та досліджували дисперсну фазу утвореного колоїдного розчину - наночастинки срібла - за допомогою просвічуючого електронного мікроскопа Selmi ПЕМ 125K за прискорюючої напруги 125 kV.

Результат мікроскопічних досліджень утворених наночастинок срібла представлений на фіг. 3 у вигляді мікрофотографії цього об'єкта. Використовуючи цю мікрофотографію, за допомогою програми Karra image Base було спочатку визначено розміри утворених наночастинок срібла, а потім за допомогою програми Origin побудовано гістограму розподілу наночастинок срібла, що утворилися, за розміром (фіг. 4).

Як видно з мікрофотографії на фіг. 3, реалізація способу, що пропонується, дозволяє одержувати колоїдні розчини переважно наночастинок у вигляді сфер з середнім розміром $7,0 \pm 1,6$ нм. Як свідчить гістограма на фіг. 4, вміст наночастинок такого середнього розміру в колоїдному розчині становить >80 %.

Одержаний колоїдний розчин нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології рік зберігали в темній шафі при температурі біля 4 °С. Через кожні 3 місяці переносили зазначений розчин у кварцову оптичну кювету товщиною 1,00 см, розміщували кювету в комірці спектрофотометра Specord 210 (Analytic Jena) й записували для нього спектр ППР, після чого розчин знов зливали у колбу й зберігали його при зазначених умовах до наступного запису спектра ППР. Порівняння одержаних спектрів ППР дозволило встановити, що такі їх характеристики як положення максимуму спектра, їх інтенсивність, ширина смуги на їх піввисоті з часом практично не зазнають змін, тобто при зазначених умовах зберігання колоїдний розчин нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології, що одержаний у спосіб, що заявляється, зберігає стабільність щонайменше рік.

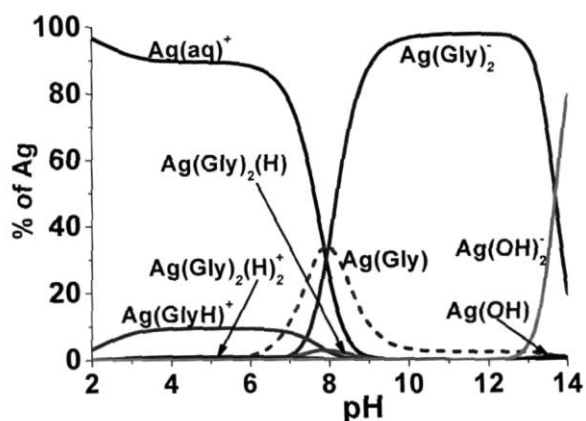
Приклад 4

Застосування колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології, одержаного у спосіб, що заявляється, як індикатора на сірковмісні органічні сполуки (на прикладі глутатіону)

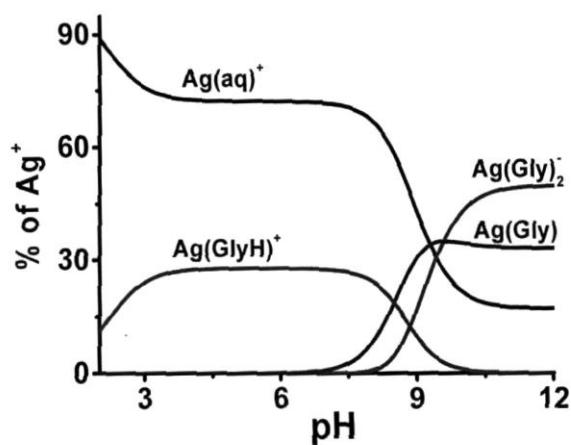
Концентрацію глутатіону у воді з використанням одержаного у спосіб, що заявляється, колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології як індикатора на цю сірковмісну органічну сполуку визначали спектрофотометричним методом. Для цього використовували спектрофотометр Specord 210 (Analytic Jena) та попередньо побудований з використанням декількох відомих концентрацій глутатіону калібрувальний графік "залежність оптичної густини колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології від логарифму концентрації глутатіону".

Для побудови зазначеної калібрувальної залежності використовували 5 мірних колб об'ємом 5 мл, кожна з яких містила 4 мл колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології. До зазначеного колоїдного розчину у першій колбі додавали 0,10 мл водного розчину глутатіону концентрації 0,2 М, до зазначеного колоїдного розчину у другій колбі - 0,50 мл водного розчину глутатіону концентрації $2 \cdot 10^{-3}$ М, до зазначеного колоїдного розчину у третій колбі - 1,00 мл водного розчину глутатіону концентрації $2 \cdot 10^{-3}$ М, до зазначеного колоїдного розчину у четвертій колбі - 0,02 мл водного розчину глутатіону концентрації 0,2 М і, нарешті, до зазначеного колоїдного розчину у п'ятій колбі - 0,10 мл водного розчину глутатіону концентрації $2 \cdot 10^{-3}$ М. Об'єм вмісту в кожній з колб доводили до мітки (5 мл) водою. У результаті концентрація глутатіону з урахуванням розведення в першій колбі становила $4 \cdot 10^{-3}$ М, у другій колбі - $2 \cdot 10^{-4}$ М, у третій колбі - $4 \cdot 10^{-4}$ М, у четвертій колбі - $8 \cdot 10^{-4}$ М та у п'ятій колбі - $4 \cdot 10^{-5}$ М. Вміст кожної колби переливали в оптичну скляну кювету шириною 1 см, розміщували кювету з розчином у комірці спектрофотометра й у режимі пропускання, при довжині хвилі 395 нм, визначали значення оптичної густини розчину за величиною інтенсивності записаного для нього спектру. На підставі одержаних для усіх п'яти розчинів значень оптичної густини будували калібрувальну залежність "значення оптичної густини колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології (А, відн. од.) від логарифму концентрації (С, моль/л) в ньому глутатіону". Одержана калібрувальна залежність представлена на фіг. 5. З неї видно, що ця залежність - лінійна й що використання колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології як індикатора на сірковмісні органічні сполуки (на прикладі глутатіону) дозволяє виявити доволі малі концентрації (порядку 10^{-5} М) глутатіону у воді. Для визначення концентрації глутатіону у воді за калібрувальною залежністю описану процедуру повторювали за винятком того, що у мірну колбу об'ємом 5 мл, що містила 4 мл колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології, додавали 0,5 мл водного розчину глутатіону невідомої концентрації.

Спосіб одержання колоїдного розчину нанорозмірного срібла сфероїдальної морфології може бути легко відтворений промисловим шляхом і дозволяє одержувати стабільні зазначені розчини, що містять як дисперсну фазу нанорозмірні (середній діаметр $7,0 \pm 1,6$ нм) частинки срібла майже сферичної форми, й при цьому без додаткових енергетичних витрат.

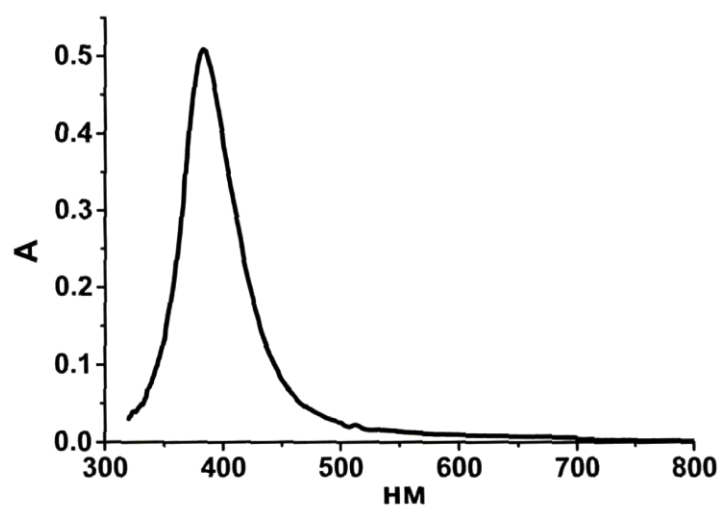


а

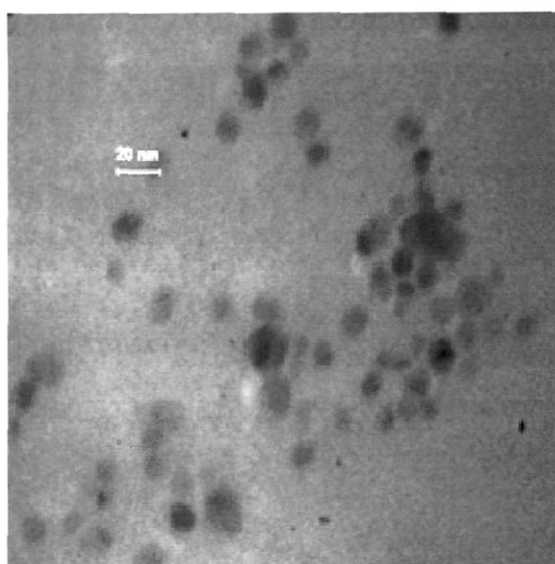


б

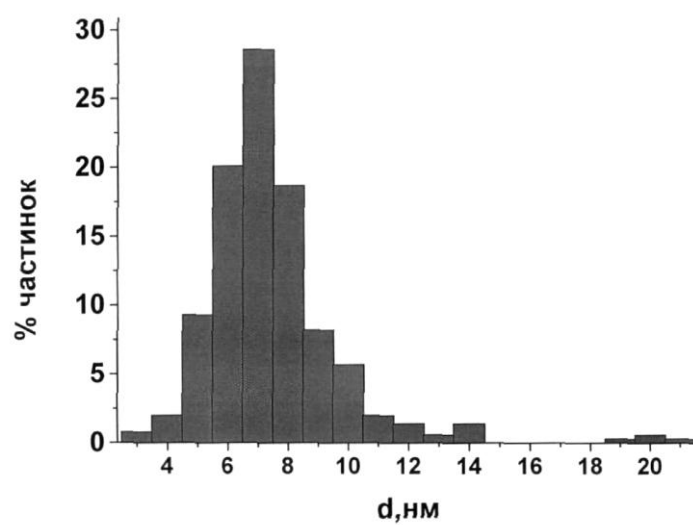
Фіг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

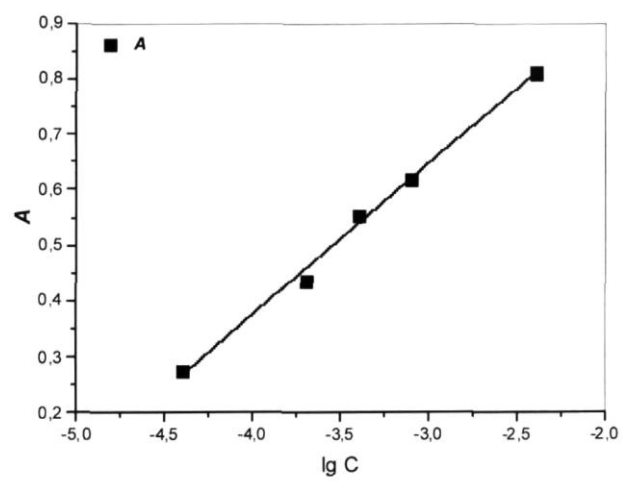


Fig. 5