



<http://dx.doi.org/10.15407/dopovidi2016.05.117>

УДК 616-006.576.36

Т. В. Ніколаєнко¹, В. В. Нікуліна¹, Н. А. Петрук¹,
А. І. Присяжнюк¹, О. В. Скачкова², М. М. Борова³,
Я. В. Пірко³, Л. В. Гарманчук¹, Г. М. Толстанова¹,
член-кореспондент НАН України А. І. Ємець³

¹ ННЦ “Інститут біології” Київського національного університету ім. Тараса Шевченка

² Національний інститут раку, Київ

³ ДУ “Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України”, Київ

E-mail: marie0589@gmail.com

Вплив на пухлинні клітини квантових точок сульфїду кадмію, синтезованих з використанням різних біологічних систем

*Досліджено вплив напівпровідникових наночастинок (квантових точок) CdS, синтезованих з використанням біологічних матриць (зокрема, бактерії *Escherichia coli*, гриба *Pleurotus ostreatus* та рослини *Linaria maroccana*), на лінію пухлинних клітин HeLa. Показано, що досліджувані квантові точки CdS виявляють слабку цитотоксичну/цитостатичну активність щодо клітин HeLa порівняно з іонним Cd²⁺ та по-різному впливають на їх адгезивний потенціал. Найменш токсичними виявилися квантові точки, синтезовані з використанням грибної матриці. Завдяки низькій токсичності щодо пухлинних клітин люмінесцентні наночастинок CdS можуть використовуватися у фундаментальних клітинно-біологічних та біомедичних дослідженнях.*

Ключові слова: квантові точки CdS, *Escherichia coli*, *Pleurotus ostreatus*, *Linaria maroccana*, HeLa.

Отримання наночастинок металів та їх застосування в біологічних системах на сьогодні є одним із активно досліджуваних напрямків нанотехнології. Нанотехнологію розглядають як галузь з надзвичайно великими перспективами для пошуку нових високочутливих методів детекції та діагностики раку. Найбільше увагу дослідників привертають квантові точки через свої унікальні електронні та оптичні властивості. Напівпровідникові квантові точки — це наночастинок з інтенсивною і стабільною флуоресценцією, які можуть бути використані для детекції від одиниць до сотен пухлинних біомаркерів у тестах крові, при біопсії ракових

© Т. В. Ніколаєнко, В. В. Нікуліна, Н. А. Петрук, А. І. Присяжнюк, О. В. Скачкова, М. М. Борова, Я. В. Пірко, Л. В. Гарманчук, Г. М. Толстанова, А. І. Ємець, 2016

тканин або як контрастні агенти для отримання медичних зображень [1]. З появою генного та білкового профілювання і технології ДНК-мікрочипів (microarray technology) високопропускний скринінг біомаркерів дав можливість згенерувати базу геномних і експресійних даних для певних типів раку, а також ідентифікувати нові пухлинно-специфічні маркери. Квантові точки мають великий потенціал для збільшення селективності високочутливих тестів *in vitro* та розширення їх застосування при створенні мультиплексних зображень на рівні клітин, тканин і цілого організму з використанням біомаркерів раку [1].

Хоча існує досить велика кількість фізичних та хімічних методів отримання наночастинок різного складу, потенційна токсичність важкого металу в складі такого комплексу істотно обмежує їхнє подальше застосування, зокрема в клінічних дослідженнях [2]. Така властивість живих організмів, як можливість продукувати та акумулювати наночастинок різної форми та розмірів, покладена в основу новітніх технологій їх біологічного синтезу, які значно розширюють спектр їх застосування в біологічних дослідженнях для візуалізації рецепторів у живих клітинах, імунофлуоресцентного мічення білків та в протипухлинній терапії [3, 4]. Крім того, перспективність біологічного синтезу полягає в тому, що цей процес не передбачає використання токсичних реактивів і, відповідно, отримані наночастинок є безпечними для навколишнього середовища та здоров'я людини [4].

На сьогодні використовується широкий спектр біологічних систем, які дають змогу отримувати наночастинок різного складу. Однією з найпоширеніших біосистем є мікроорганізми, за допомогою яких можна отримувати наночастинок з високою каталітичною активністю [5]. З використанням грибних систем можна отримувати наночастинок позаклітинним шляхом за рахунок активності ферменту сульфатредуктази [6]. Рослинні системи мають свої переваги завдяки наявності значної кількості речовин (алкалоїди, флаваноїди, феноли), які сприяють синтезу наночастинок [7].

За мету даного дослідження ставилося вивчення впливу напівпровідникових люмінісцентних наночастинок (квантових точок) CdS, отриманих нещодавно нами позаклітинним шляхом за допомогою різних біологічних матриць — бактерії *Escherichia coli*, міцелію гриба *Pleurotus ostreatus* та культури бородатих коренів *Linaria maroccana*, на пухлинні клітини лінії HeLa.

Особливості біологічного синтезу та фізико-хімічні характеристики квантових точок CdS, що були використані в дослідженні, детально описані нами в роботах [8–10]. Концентрація наночастинок CdS, отриманих за допомогою *E. coli*, в матричному розчині становила 3,6 мг/л, за допомогою *P. ostreatus* — 3,75 мг/мл, *L. maroccana* — 1,2 мг/мл. Для вивчення токсичності квантових точок застосували такі розведення маточних розчинів: 1 : 1, 1 : 2, 1 : 4, 1 : 8, 1 : 16. Як контроль використовували біологічні матриці (середовища, які служили основою для біологічного синтезу наночастинок), описані в [8–10], а також у відповідній концентрації сіль CdS, яка утворювалася в процесі хімічної реакції $\text{CdSO}_4 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{CdS} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ за аналогічних умов у бідистильованій воді без застосування біологічних матриць. Концентрація CdS в такому розчині становила 4 мг/мл. Зі збільшенням розведення матричних розчинів зменшується їх токсичність, особливо це виражено для середовищ з наночастинками CdS.

Для дослідження дії квантових точок CdS використовували пухлинні клітини лінії HeLa (рак шийки матки людини). Культивування проводили у термостаті при 37 °C за вологих умов, 5% CO₂; у повному поживному середовищі RPMI ("Sigma", США) з додаванням 10% ETC ("Sigma", США). Досліджувані наночастинок та розчини додавали до стандартного середовища для культивування клітин HeLa.

Кількість живих клітин оцінювали за допомогою МТТ-тесту [11]. В основу методу покладено здатність мітохондріальних ферментів живої клітини перетворювати 3-[4,5-диметилтіазол-2-іл]-2,5-дифенілтетразоліум бромід (МТТ) — сіль жовтого кольору в кристалічний МТТ-формазап лілового кольору. Для цього у лунки 96-лункового планшета додавали 20 мкл розчину МТТ (“Sigma”, США) (5 мг/мл фосфатно-сольового буфера) та інкубували за тих самих умов протягом 3 год. Після центрифугування планшета (1500 об/хв, 5 хв) за допомогою напіваавтоматичного відсмоктувача видаляли супернатант. Для розчинення кристалів формазапу в кожну лунку додавали 100 мкл диметилсульфоксиду (“Serva”, Німеччина). Величину оптичного поглинання розчину вимірювали за допомогою мультилункового спектрофотометра при довжині хвилі 540 нм (ОП₅₄₀).

Для оцінки виживаності клітин за умов дії наночастинок застосовували метод рутинного підрахунку клітин у камері Горяєва після фарбування клітин трипановим синім, який проникає в мертві клітини. Виживаність клітин визначали за відсотком живих клітин після дії наночастинок і порівняно з відповідним контролем та відносно біологічних матриць *E. coli*, *P. ostreatus*, *L. maroccana*.

Аналіз розподілу клітин за фазами мітотичного циклу та визначення кількості апоптичних клітин здійснювали проточно-цитометричним методом [12]. Для цього клітини обробляли пропідіум йодидом у концентрації 2,5 мкг/мл. Усі проточно-цитометричні дослідження виконувалися на приладі FACS Calibur (“BectonDickinson”, США), що оснащений двома лазерами (з довжиною хвилі 488 та 625 нм), із застосуванням спеціалізованих математичних програм CellQuest та ModFit LT 2.0 (BDIS, США) для комп’ютерів Macintosh для придбання та аналізу даних. Для виміру флюоресценції пропідіум йодиду використовували вузькосмуговий фільтр 585/42 нм.

Адгезивний потенціал клітин HeLa оцінювали з використанням барвника фіолетового кристалічного з попередньою фіксацією спиртом як описано в [13].

Для порівняльного визначення токсичного впливу на клітини лінії HeLa квантових точок, отриманих за допомогою різних біологічних матриць, нами спочатку було проведено окреме дослідження впливу самих матриць на виживаність клітин. Було встановлено, що вони не виявляють цитотоксичної/цитостатичної активності щодо лінії клітин HeLa при їх додаванні до стандартного середовища для культивування цих клітин. Такі дані свідчать про певну відсутність додаткового впливу середовищ, в яких проводили біологічний синтез наночастинок, на виживаність клітин HeLa. Тому наступним кроком було порівняльне дослідження впливу безпосередньо квантових точок, синтезованих за допомогою бактеріальної, грибною та рослинної матриць, на клітини лінії HeLa та іонного кадмію, що входить до складу солі CdS, отриманої шляхом хімічної реакції. Використання різних розведень квантових точок CdS виявило, що зі збільшенням розведення розчинів їх токсичність зменшується. Оптимальне розведення для квантових наночастинок, отриманих за допомогою різних біологічних матриць, без зафіксованого цитотоксичного ефекту становило близько 1 : 8 – 1 : 16. Як приклад наведено виживаність культури клітин HeLa за умов дії квантових точок CdS, отриманих за допомогою *P. ostreatus* (табл. 1).

Як видно з наведених даних, цитотоксична дія зменшувалась із збільшенням розведень матричних розчинів і в розведеннях 1 : 8 – 1 : 32 відсоток мертвих клітин становив у середньому 6,2%, тоді як у контролі — 4,3%.

Наступне питання, яке становило інтерес, — чи впливають наночастинок на клітинний цикл та рівень апоптозу. З метою з’ясування цього питання використовували наночастинок, отримані за допомогою різних культур у розведеннях 1 : 8 – 1 : 16.

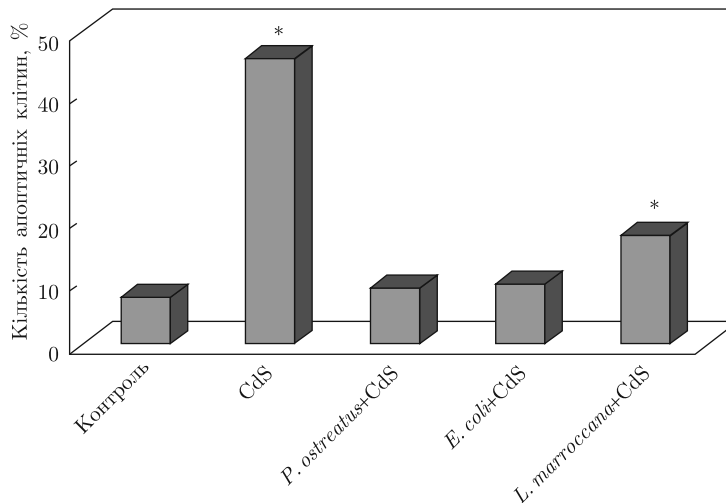


Рис. 1. Кількість апоптичних клітин лінії HeLa після обробки квантовими точками CdS, отриманими за допомогою бактерії *Escherichia coli*, міцелію гриба *Pleurotus ostreatus* та культури бородатих коренів *Linaria maroccana*. Контроль — стандартне середовище культивування.

* — $P < 0,05$ відносно контролю

Як свідчать наведені на рис. 1 дані, квантові точки CdS, отримані з використанням бактеріальної та грибною матриць, не чинять цитотоксичного/цитостатичного ефекту на клітини. Водночас квантові точки CdS, отримані за допомогою культури рослини *L. maroccana*, мали проапоптичний ефект. Зокрема, вони інгібували проліферативну активність пухлинних клітин відносно контролю та виявляли апоптичну і цитостатичну дію. Показано зростання кількості апоптичних клітин під їх впливом майже в 2 рази порівняно з контролем (див. рис. 1).

Однак найбільш токсичним виявився іонний кадмій. Обробка клітин HeLa 0,45 мг/мл CdS призводила до зростання кількості апоптичних клітин приблизно до $45 \pm 2,4\%$, що у 3 рази вище, ніж після обробки квантовими точками, отриманими за допомогою рослинної матриці, та у 5–7 разів вище порівняно з показником у контролі та варіанті з обробкою квантовими точками, отриманими з використанням бактеріальної та грибною матриць.

При порівнянні співвідношення живих і мертвих клітин HeLa після обробки квантовими точками CdS різного походження та іонним кадмієм було встановлено, що найменш токсичними є квантові точки, отримані за допомогою грибною матриці (рис. 2). Майже подібний цитостатичний ефект виявляли квантові точки, отримані за допомогою бактеріальної та рослинної матриць. Кількість мертвих клітин після обробки з їх використанням збільшувалася приблизно в 2,8 рази порівняно з контролем (див. рис. 2). Найбільший цитотоксичний ефект у клітин HeLa викликала обробка сіллю CdS. При застосуванні іонного кадмію відмічався високий відсоток мертвих клітин, зокрема, цей показник перевищував контроль

Таблиця 1. Вплив різних концентрацій біологічної матриці (*P. ostreatus*) та квантових точок CdS, отриманих за допомогою культури *P. ostreatus* (*P. ostreatus* + CdS), на виживаність клітин HeLa, %

Варіант досліджу	Розведення				
	1 : 2	1 : 4	1 : 8	1 : 16	1 : 32
<i>P. ostreatus</i>	41,0 ± 4,5	23,0 ± 2,3	19,7 ± 3,0	11,4 ± 0,4	5,4 ± 1,1
<i>P. ostreatus</i> + CdS	38,0 ± 2,0	10,4 ± 1,7	8,7 ± 0,5	6,5 ± 1,2	3,4 ± 0,7

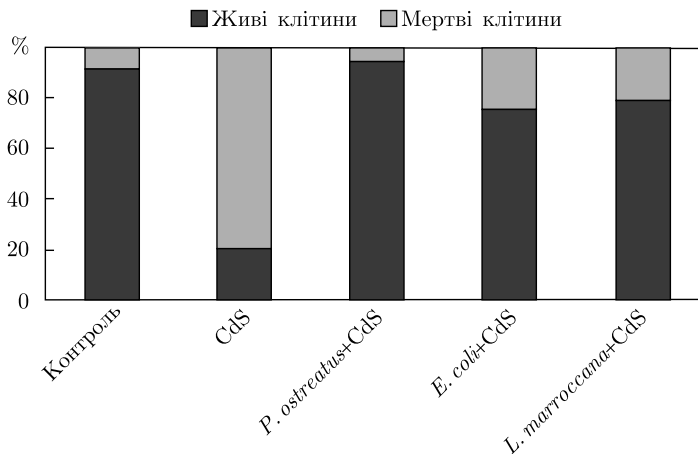


Рис. 2. Співвідношення живих/мертвих клітин після обробки квантовими точками CdS (розведення 1 : 8 – 1 : 16), отриманими за допомогою бактерії *Escherichia coli*, міцелію гриба *Pleurotus ostreatus* та культури бородатих коренів *Linaria maroccana*. Контроль — стандартне середовище культивування. $P < 0,05$ відносно контролю

у 8 разів та був у 3–4 рази вищим, ніж після обробки клітин квантовими точками, отриманими за допомогою бактеріальної та рослинної матриць.

Отже, на підставі результатів досліджень можна стверджувати, що квантові точки CdS, отримані шляхом біологічного синтезу, не справляють вираженого токсичного впливу, на відміну від іонного кадмію. Найменш токсичними серед них виявилися квантові точки, отримані за допомогою грибною матриці. Ці дані збігаються з одержаними нами нещодавно результатами вивчення токсичності та генотоксичності цих напівпровідникових наночастинок на *Drosophila melanogaster* [14], які показали, що саме квантові точки CdS, отримані за допомогою міцелію *P. ostreatus*, не викликають токсичного ефекту.

Важливим показником функціонального стану ракових клітин є їх здатність до міжклітинної адгезії, що обумовлює їх інвазивність та сприяє розвитку метастазів. Зменшення адгезивного потенціалу пухлинних клітин, ймовірно, означає зменшення злоякісності клітин. Тому наступним етапом дослідження було визначення адгезивного потенціалу клітин HeLa під впливом біологічних матриць та кадмієвих напівпровідникових наночастинок. Згідно з попередніми даними, квантові точки CdS, отримані за допомогою *P. ostreatus*, здатні знижувати рівень адгезії клітин HeLa на відміну від неорганічного CdS. За умов культивування в середовищі з квантовими точками CdS, отриманими за допомогою *E. coli*, спостерігалось також незначне зниження адгезивних властивостей клітин. Однак обробка клітин квантовими точками, отриманими за допомогою *L. maroccana*, викликала деяке підвищення адгезивного потенціалу клітин HeLa.

Таким чином, у результаті дослідження виявлено, що квантові точки CdS, отримані за допомогою трьох різних біологічних матриць, не є вкрай токсичними щодо клітин HeLa. Найменш токсичними виявилися наночастинок, отримані з використанням грибною матриці. Встановлено, що при біологічному синтезі квантових точок знижуються токсичні властивості кадмію, що узгоджується як з нашими даними [14], так і з результатами інших дослідників [15]. Низький токсичний вплив кадмієвмісних наночастинок пов'язують з наявністю специфічних біомолекул навколо них, які відіграють важливу роль у цьому процесі [15]. Отже, отримані екологічним та зручним методом напівпровідникові люмінесцентні нано-

частинки CdS можуть бути використані як зручні флуоресцентні зонди в різноманітних біологічних та біомедичних дослідженнях на тваринних організмах, і в тому числі при вивченні пухлинних клітин та тканин, а також процесів метастазування, оскільки самі по собі вони не викликають виражених побічних ефектів у клітинах, що було нами показано на культурі клітин лінії HeLa. Подібні ефекти виявлені для клітин ендотелію та первинних культур Т- та В-лімфоцитів, що буде розглядатися в наступних публікаціях.

Дослідження виконане за підтримки проекту 3/28 “Розробка нанобіотехнологічних підходів отримання квантових точок сульфідів кадмію та дослідження їх біологічної активності” (2014–2015 рр.) відділення цільової підготовки Київського національного університету ім. Тараса Шевченка при НАН України (ПК 0114U003873).

Цитована література

1. Smith A. M., Dave S., Nie S., True L., Gao X. Multicolor quantum dots for molecular diagnostics of cancer // *Expert Rev. Mol. Diagn.* – 2006. – **6**. – P. 231–244.
2. Derfus A. M., Chan W. C. W., Bhatia S. N. Probing the cytotoxicity of semiconductor quantum dots // *Nano Lett.* – 2004. – **4**, No 1. – P. 11–18.
3. Borovaya M. N., Burlaka O. M., Yemets A. I., Blume Ya. B. Biosynthesis of Quantum Dots and Their Potential Applications in Biology and Biomedicine // *Nanoplasmonics, Nano-Optics, Nanocomposites, and Surface Studies.* – Cham: Springer, 2015. – P. 339–362. – (Springer Proceeding in Physics; Vol. 167).
4. Блом Я. Б., Пірко Я. В., Бурака О. М., Борова М. М., Даниленко І. А., Смертенко П. С., Ємець А. І. “Зелений” синтез наночастинок благородних металів та напівпровідникових нанокристалів CdS за допомогою біологічної сировини // *Наука та інновації.* – 2015. – **11**, № 1. – С. 59–71.
5. Li X., Xu H., Chen Zh.-Sh., Chen G. Biosynthesis of nanoparticles by microorganisms and their applications // *J. Nanomater.* – 2011. – **2011**. – 270974, 16 p.
6. Gupta S., Sharma K., Sharma R. Myconanotechnology and application of nanoparticles in biology // *Rec. Res. Sci. Tech.* – 2012. – **4**, Iss. 8. – P. 36–38.
7. Kavitha K. S., Baker S., Rakshith D., Kavitha H. U., Yashwantha Rao H. C., Harini B. P., Satish S. Plants as green source towards synthesis of nanoparticles // *Int. Res. J. Biol. Sci.* – 2013. – **2**, No 6. – P. 66–76.
8. Борова М. М., Науменко А. П., Ємець А. І., Блом Я. Б. Стабільність квантових точок CdS, синтезованих за допомогою бактерії *Escherichia coli* // *Доп. НАН України.* – 2014. – № 7. – С. 145–151.
9. Borovaya M. N., Naumenko A. P., Matvieieva N. A., Blume Ya. B., Yemets A. I. Biosynthesis of luminescent CdS quantum dots using plant hairy root culture // *Nanoscale Res. Lett.* – 2014. – **9**. – P. 1–7.
10. Borovaya M., Pirko Ya., Krupodorova T., Naumenko A., Blume Ya., Yemets A. Biosynthesis of cadmium sulfide quantum dots using *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm // *Biotechnol. Biotec. Eq.* – 2015. – **29**, Iss. 6. – P. 1156–1163.
11. Mosmann T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays // *J. Immunol. Methods.* – 1983. – **65**, No 1–2. – P. 55–63.
12. Nicoletti I., Migliorati G., Pagliacci M. C., Grignani F., Riccardi C. A rapid and simple method for measuring thymocyte apoptosis by propidium iodide staining and flow cytometry // *J. Immunol. Methods.* – 1991. – **139**, No 2. – P. 271–279.
13. Гарманчук Л. В., Перепелиціна О. М., Гринюк І. І., Прилуцька С. В., Матишевська О. П., Сидоренко М. В. Вплив фулеренів C₆₀ на адгезивні властивості клітин раку молочної залози MCF-7 // *Доп. НАН України.* – 2009. – № 4. – С. 164–167.
14. Проценко О. В., Дудка О. А., Козерецька І. А., Іномістова М. В., Борова М. М., Пірко Я. В., Толстанова Г. М., Остапченко Л. І., Ємець А. І. Оцінка токсичності та генотоксичності квантових точок CdS, синтезованих за допомогою біологічних матриць // *Доп. НАН України.* – 2016. – № 4. – С. 111–117.
15. Galeone A., Vecchio G., Malvindi M. A., Brunetti V., Cingolani R., Pompa P. P. In vivo assessment of CdSe–ZnS quantum dots: coating dependent bioaccumulation and genotoxicity // *Nanoscale.* – 2012. – **4**, No 20. – P. 6401–6407.

References

1. Smith A. M., Dave S., Nie S., True L., Gao X. *Expert Rev. Mol. Diagn.*, 2006, **6**: 231–244.
2. Derfus A. M., Chan W. C. W., Bhatia S. N. *Nano Lett.*, 2004, **4**: 11–18.
3. Borovaya M. N., Burlaka O. M., Yemets A. I., Blume Ya. B. *Nanoplasmonics, Nano-Optics, Nanocomposites, and Surface Studies*, Cham: Springer, 2015: 339–362.
4. Blume Ya. B., Pirko Ya. V., Burlaka O. M., Borovaya M. N., Danilenko I. A., Smertenko P. S., Yemets A. I. *Science and Innovation*, 2015, **11**, No 1: 59–71 (in Ukrainian).
5. Li X., Xu H., Chen Zh.-Sh., Chen G. J. *Nanomater.*, 2011, **2011**: 270974.
6. Gupta S., Sharma K., Sharma R. *Rec. Res. Sci. Tech.*, 2012, **4**, Iss. 8: 36–38.
7. Kavitha K. S., Baker S., Rakshith D., Kavitha H. U., Yashwantha Rao H. C., Harini B. P., Satish S. *Int. Res. J. Biol. Sci.*, 2013, **2**, No 6: 66–76.
8. Borovaya M. N., Naumenko A. P., Yemets A. I., Blume Ya. B. *Dop. NAN Ukraine*, 2014, No 7: 145–151 (in Ukrainian).
9. Borovaya M. N., Naumenko A. P., Matvieieva N. A., Blume Ya. B., Yemets A. I. *Nanoscale Res. Lett.*, 2014, **9**: 1–7.
10. Borovaya M., Pirko Ya., Krupodorova T., Naumenko A., Blume Ya., Yemets A. *Biotechnol. Biotec. Eq.*, 2015, **29**, Iss. 6: 1156–1163.
11. Mosmann T. J. *Immunol. Methods*, 1983, **65**, No 1–2: 55–63.
12. Nicoletti I., Migliorati G., Pagliacci M. C., Grignani F., Riccardi C. *J. Immunol. Methods*, 1991, **139**, No 2: 271–279.
13. Garmanchuk L. V., Perepelytsina O. M., Grynyuk I. I., Prylutska S. V., Matyshevska O. P., Sydorenko M. V. *Dop. NAN Ukraine*, 2009, No 4: 164–167 (in Ukrainian).
14. Protsenko O. V., Dudka O. A., Kozeretzkaya I. A., Inomystova M. V., Borovaya M. N., Pirko Ya. V., Tolstanova A. N., Ostapchenko L. I., Yemets A. I. *Dop. NAN Ukraine*, 2016, No 4: 111–117 (in Ukrainian).
15. Galeone A., Vecchio G., Malvindi M. A., Brunetti V., Cingolani R., Pompa P. P. *Nanoscale*, 2012, **4**, No 20: 6401–6407.

Надійшло до редакції 18.11.2015

Т. В. Николаенко¹, В. В. Никулина¹, Н. А. Петрук¹, А. И. Присяжнюк¹,
О. В. Скачкова², М. Н. Боровая³, Я. В. Пирко³, Л. В. Гарманчук¹,
А. Н. Толстанова¹, член-корреспондент НАН Украины А. И. Емец³

¹УНЦ “Институт биологии” Киевского национального университета им. Тараса Шевченко

²Национальный институт рака, Киев

³ГУ “Институт пищевой биотехнологии и геномики НАН Украины”, Киев

E-mail: marie0589@gmail.com

Влияние на опухолевые клетки квантовых точек сульфида кадмия, синтезированных с использованием различных биологических систем

Изучено влияние полупроводниковых наночастиц (квантовых точек) CdS, синтезированных с использованием биологических матриц (в частности, бактерии *Escherichia coli*, гриба *Pleurotus ostreatus* и растения *Linaria matocarpa*), на линию опухолевых клеток HeLa. Показано, что исследуемые квантовые точки CdS обладают слабой цитотоксической/цитостатической активностью по отношению к клеткам HeLa по сравнению с ионным Cd²⁺ и по-разному влияют на их адгезивный потенциал. Наименее токсичными оказались кванто-

вые точки, синтезированные с использованием грибной матрицы. Благодаря низкой токсичности по отношению к опухолевым клеткам люминесцентные наночастицы CdS можно использовать в фундаментальных клеточно-биологических и биомедицинских исследованиях.

Ключевые слова: квантовые точки CdS, *Escherichia coli*, *Pleurotus ostreatus*, *Linaria maroccana*, HeLa.

T. V. Nikolaienko¹, V. V. Nikulina¹, N. A. Petruk¹, A. I. Prisyazhnyuk¹,
O. V. Scachkova², M. N. Borovaya³, Ya. V. Pirko³, L. V. Garmanchuk¹,
G. M. Tolstanova¹, Corresponding Member of the NAS of Ukraine A. I. Yemets³

¹ESC “Institute of Biology”, Taras Shevchenko National University of Kiev

² National Cancer Institute, Kiev

³ Institute of Food Biotechnology and Genomics of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: marie0589@gmail.com

Effects of CdS quantum dots synthesized by various biological systems on cancer cells

Three types of semiconductor CdS nanoparticles (quantum dots) are obtained by biosynthesis, using bacteria Escherichia coli, the fungus Pleurotus ostreatus, and the plant – Linaria maroccana. The effects of CdS quantum dots on the cancer cell line HeLa is studied. All types of CdS quantum dots vs ionic Cd²⁺ have weaker cytotoxic and cytostatic activities. The effects on cells' adhesive potential depend on the types of CdS quantum dots. The least toxic quantum dots are synthesized, using the fungus Pleurotus ostreatus. Low toxic effects of studied fluorescent CdS nanoparticles on cancer cells might promise their effective application to cell biology and biomedical research.

Keywords: quantum dots CdS, *Escherichia coli*, *Pleurotus ostreatus*, *Linaria maroccana*, HeLa.