

ПЕРСПЕКТИВИ КОМЕРЦІЙНОГО ВИКОРИСТАННЯ НАНОБІОТЕХНОЛОГІЙ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ УКРАЇНИ

МАТЮШЕНКО І. Ю., МАХАНЬОВА Ю. М., КОСТЕНКО А. О.

УДК 330.342+332.1

Матюшенко І. Ю., Маханьова Ю. М., Костенко А. О. Перспективи комерційного використання нанобіотехнологій у сільськогосподарському виробництві України

Розглянуто проблеми комерційного використання нанобіотехнологій у сільськогосподарському виробництві України. Наведено прогноз зміни структури і динаміки секторів і сегментів ринку нанобіопродуктів. Представлено приклади використання нанотехнологічних розробок з метою підвищення ефективності агропромислового комплексу.

Ключові слова: нанотехнології, біотехнології, нанобіотехнології, наноматеріали, ринок нанобіопродуктів, агропромисловий комплекс, сільське господарство.

Рис.: 1. Табл.: 11. Бібл.: 21.

Матюшенко Ігор Юрійович – кандидат технічних наук, професор, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна)

Маханьова Юлія Миколаївна – аспірантка, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна)

Костенко Аліна Олександрівна – здобувач, Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України (пл. Свободи, 5, Держпром, 7 під'їзд, 8 поверх, Харків, 61022, Україна)

УДК 330.342+332.1

Матюшенко И. Ю., Маханева Ю. Н., Костенко А. А. Перспективы коммерческого использования нанобиотехнологий в сельскохозяйственном производстве Украины

Рассмотрены проблемы коммерческого использования нанобиотехнологий в сельскохозяйственном производстве Украины. Приведен прогноз изменения структуры и динамики секторов и сегментов рынка нанобиопродуктов. Представлены примеры использования нанотехнологических разработок с целью повышения эффективности агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: нанотехнологии, биотехнологии, нанобиотехнологии, наноматериалы, рынок нанобиопродуктов, агропромышленный комплекс, сельское хозяйство.

Рис.: 1. Табл.: 11. Библ.: 21.

Матюшенко Игорь Юрьевич – кандидат технических наук, профессор, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина (пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина)

Маханева Юлия Николаевна – аспирантка, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина (пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина)

Костенко Алина Александровна – соискатель, Научно-исследовательский центр индустриальных проблем развития НАН Украины (пл. Свободы, 5, Госпром, 7 подъезд, 8 этаж, Харьков, 61022, Украина)

UDC 330.342+332.1

Matyushenko I. Y., Makhanyova Y. N., Kostenko A. A. Prospects for Commercial Use Nanobiotechnologies in Agricultural Production of Ukraine

The problems of commercial use of nanobiotechnology in agricultural production in Ukraine were considered. Forecast of changes in the structure and dynamics of sectors and market segments nanobioprodukt were carried out. The examples of the use of nanotechnology developments to improve the efficiency of agriculture were provided.

Key words: nanotechnology, biotechnology, nanobiotechnology, nanomaterials, nanobioprodukt market, agriculture.

Fig.: 1. Tabl.: 11. Bibl.: 21.

Matyushenko Igor Y. – Candidate of Sciences (Engineering), Professor, V. N. Karazin Kharkiv National University (pl. Svobody, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine)

Makhanyova Yuliya N. – Postgraduate Student, V. N. Karazin Kharkiv National University (pl. Svobody, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine)

Kostenko Alina A. – Applicant, Research Centre of Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (pl. Svobody, 5, Derzhprom, 7 pid'yizd, 8 porverkh, Kharkiv, 61022, Ukraine)

Ситуація, що склалась сьогодні в Україні, свідчить про те, що в українському суспільстві немає розуміння того, яким воно повинно бути у довгостроковій перспективі, якою повинна бути його політична, соціальна, економічна і духовна сфери, на яких принципах вони можуть і повинні бути побудовані. Як свідчить світовий досвід, тільки модель випереджального розвитку спроможна забезпечити країні процвітання, а не життя на задвірках світової цивілізації. Забезпечити це може тільки успішний розвиток в науково-технічній та інноваційній сфері. Саме на вирішення як глобальних, так і національних проблем, які існують у кожній країні світу, і повинна бути спрямована будь-яка, у тому числі й інноваційна діяльність держави і суспільства.

Світова продовольча проблема є однією з головних невирішених проблем ХХ століття. На початку ХХІ століття проблема продовольства набула глобального характеру і являє сьогодні багатофакторне складне утворення, що має економічні, соціальні, технологічні, біологічні, історичні, етнічні, географічні, політичні і моральні корені. За даними FAO, близько мільярда людей на планеті голодують. Сучасна географія місць, де відзначений гострий дефіцит найбільш необхідних продуктів харчування, охоплює ряд країн, що розвиваються, Африки, Азії та Південної Америки, серед яких найбільш складна ситуація, за даними FAO, в Уганді, Малі, Нігері, Сомалі, Киргизстані, Таджикистані, Гондурасі, Гватемалі і Гаїті.

Проблема збільшення світового сільськогосподарського виробництва і вирішення продовольчої проблеми завжди була предметом уваги багатьох вітчизняних вчених зокрема, В. Г. Андрійчука, В. І. Бойка, О. А. Богущького, А. П. Голікова, В. О. Гуцула, Е. В. Ковальнової, І. І. Лукінова, В. Я. Месель-Веселяка, Я. Б. Олійника, М. Д. Пістун, П. Т. Саблука, А. С. Філіпенка та зарубіжних: С. Аміна, Н. Н. Батової, Н. Бертольда, А. В. Гордєєва, З. М. Ільїної, Р. Карбоу, Г. П. Мартіна, Д. Л. Медоуза, Т. Ф. Рябової, Дж. Стігліца, Д. Форрестера, Й. Хільнерта, Б. А. Чернякова, Х. Шумана, а також багатьох інших, проте в сучасних умовах глобальної продовольчої кризи питання, які підіймалися в працях цих та інших авторів, набувають особливої гостроти. Як наслідок, особливої уваги набуває питання нарощування виробництва аграрної продукції країнами, які мають для цього відповідні передумови. А саме до таких країн відноситься й Україна. Це питання потребує проведення додаткових досліджень щодо пошуку найбільш перспективних напрямів розвитку сільськогосподарського виробництва, у тому числі в Україні.

На початку другого десятиліття ХХІ ст. нано- і біотехнології стають усе більш реальним інструментом, за допомогою якого людство сподівається досягти цілей і вирішити глобальні проблеми, що стоять перед ним. Як наслідок, провідні країни світу приділяють значну увагу визначенню й постійному перегляду й уточненню державних науково-технологічних і інноваційних пріоритетів відповідно до проблем, які необхідно вирішувати будь-якій країні, у тому числі й з урахуванням національної специфіки прояву цих проблем.

У загальному вигляді можна запропонувати такі визначення:

- ★ *нанотехнології* – це наука й техніка створення, виготовлення, характеристики й реалізації матеріалів і функціональних структур і устроїв на

атомному, молекулярному й нанометричному рівнях [1];

- ★ *біотехнології* – це сукупність фундаментальних і прикладних досліджень, а також інженерних рішень, спрямованих на використання біологічних об'єктів, систем або процесів у промислових масштабах [2].

Синтезом нанотехнологій і біотехнологій є нанобіотехнологія. Використання принципів, по яких жива природа вибудовує надзвичайно ефективні наноструктури, може виявитися винятково корисним у створенні високоефективних каталізаторів, високоякісних полімерів, мембранних структур з керованою селективною проникністю, нових лікарських засобів і методів діагностики хвороб, наномашин і нанороботів, наноелектроніки й багато чого іншого. Із цих причин темпи розвитку біотехнологій, темпи інвестування в них, обсягів збуту в цій сфері зростають навіть швидше, ніж у середньому для нанотехнології.

На *рис. 1* наведено фундаментальні основи і галузі застосування нанобіотехнологій, а в *табл. 1* представлено коротке зведення напрямків розвитку й сфер застосування нанобіотехнології [2, с. 441 – 442].

До сектора ринку нанопродуктів «Наномедицина і біотехнологія» відносяться лікарські препарати, методи медичних досліджень і прилади для клінічної діагностики, продукти кінцевого споживання (такі, як косметичні засоби і харчові добавки), а також продукти харчування і напої, при створенні яких застосовуються наноматеріали і (або) нанотехнології. У *табл. 2* представлено три основні сегменти ринку відповідно до галузі застосування [3, с. 55].

Цілком зрозуміло, що наноматеріали створюються і реалізуються виробникам кінцевої продукції в усіх індустріальних секторах економіки. У *табл. 3* наведено при-

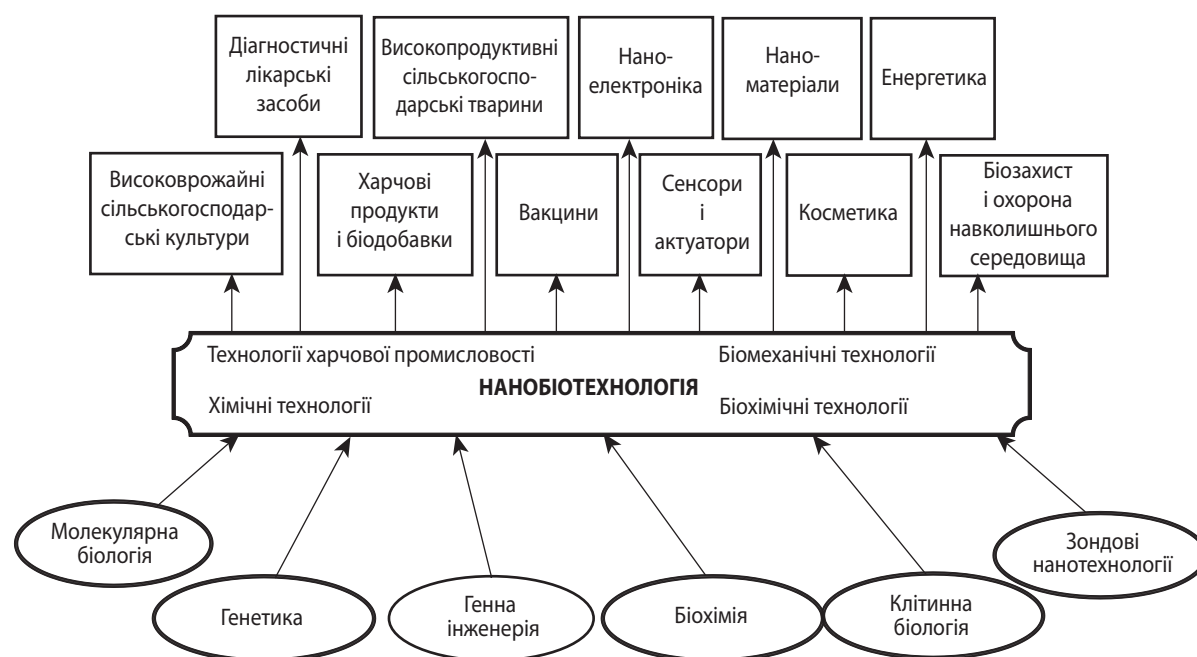


Рис. 1. Фундаментальні основи і сфери використання нанобіотехнології

клади використання наноматеріалів, що вже сьогодні знаходяться у комерційному виробництві і представлені на ринку, у чотирьох основних індустріальних секторах [3, с. 68 – 71], також у *табл. 4* представлено прогноз виходу на стадію комерційного застосування наноматеріалів, що знаходяться у стадії розробки, по секторах нанодустрії в період 2009 – 2015 рр. [3, с. 73 – 81].

У *табл. 5* також представлено сьогоднішнє й майбутнє у застосуванні наночастинок [4, с. 54 – 56].

З урахуванням динаміки, що складається, рейтинг секторів за обсягами продажів та в найближчий перспективі у 2009 – 2014 рр. збережеться (*табл. 6* [3, с. 61]), при цьому друге місце за темпами зростання очікується в секторі «Медицина і біотехнології», що, можливо, перемістить цей сектор з передостанньої рейтингової позиції.

Таблиця 1

Основні напрямки розвитку нанобіотехнології

№ з/п	Галузь	Конкретні приклади
1	Медицина	Доставка лікарських препаратів і генів усередину клітини, використання ферментів і мікроорганізмів при виробництві складних ліків, синтез нових антибіотиків, діагностика й мікро-/нанохірургія, розробка біосумісних поверхонь контакту й матеріалів для протезування й імплантації
2	Генна інженерія	Секверування й модифікація ДНК
3	Сільське господарство	Одержання нових штамів мікроорганізмів, нові методи селекції рослин і тварин (включаючи клонування)
4	Харчова промисловість	Створення нових методів переробки й зберігання харчових продуктів, синтез білка з одноклітинними організмами
5	Хімічна промисловість	Нові ефективні каталізатори, мембранні технології
6	Контроль за навколишнім середовищем	Удосконалення методів тестування й моніторингу, засобів детектування й боротьби з хімічною й біологічною зброєю, технології переробки й утилізації відходів
7	Енергетика	Нові види палива, способи його одержання, зберігання й використання
8	Наноелектроніка	Сенсорика, біочипи, інформаційні технології
9	Матеріалознавство	Вилуження руд, біосинтез, біорозкладання

Таблиця 2

Основні сегменти ринку нанотехнологій у сфері «Медицина і біотехнології» відповідно до галузі застосування

Медицина і біотехнології		
Медичні дослідження, клінічна діагностика, медичні прилади	Фармацевтичні препарати і лікарські сполуки	Продукти кінцевого споживання
<ul style="list-style-type: none"> – Системи Nano-HPLC (високопродуктивної рідинної хроматографії); – біомагнітна сепарація; – реагенти трансфекції; – наномембрани; – наноманіпулятори; – замітники кісток; – протимікробні перев'язувальні матеріали; – спинтронні датчики; – леза скальпелів; – хірургічні голки; – медичний одяг; – медичні трубки; – протиінфекційні покриття медичних приладів; – контрастні препарати для магнітно-резонансної томографії; – скандувальні вимірювальні наконечники мікроскопів; – флуоресцентні препарати для оптичного формування зображення 	<ul style="list-style-type: none"> – Доставка лікарських засобів; – лікарські сполуки із покращеною розчинністю; – ліки від раку, що вкладені в наноліпосоми; – гормональна терапія, заснована на нанофосфоліпідах; – терапія AMD, заснована на аптамерах 	<ul style="list-style-type: none"> – Сонцезахисні засоби і косметичні препарати, що захищають від ультрафіолетового випромінювання; – антиоксиданти; – харчові добавки; – продукти харчування і напої

Таблиця 3

Приклади застосування наноматеріалів, представлених на світовому ринку, у секторі «Медицина і біотехнології»

Сектор	Типи наноматеріалів	
	Нанорозмірні плівки і покриття нанорівня	Тверді наночастинки
Медицина і біотехнології	<ul style="list-style-type: none"> – Нанопористі мембрани (полімери) для пристроїв очищення води; – нанопористі полімери для покриття очок і лінз; – тонкі плівки срібла для антибактеріальних перев'язувальних матеріалів 	<ul style="list-style-type: none"> – Оксид титану, оксид цинку для сонцезахисних кремів і засобів особистої гігієни; – фосфат кальцію, гідроксианатит для синтетичної кісної тканини і зубних імплантатів; – алтамери – лікарські препарати для лікування неоваскулярної вікової дегенерації шкіри; – дендримери у маркерах при вимірюванні серцевої діяльності; – наночастинки золота для засобів імунологічних аналізів і оптичної електронної мікроскопії; – квантові точки (Si, Ge) для засобів аналізу відміченими молекулами; – рідкоземельні наноліумінофори для аналізу біологічних структур відміченими молекулами; – дендримери (полегшують впровадження ДНК у клітини) у реактивах для трансфекції у генній інженерії; – колоїдне срібло при виробництві біологічно активних добавок; – оксид заліза (суперпарамагнітні наночастинки) для засобів магнітної сепарації при аналізах в біології, біохімії, імунології, генетиці; – оксид заліза, контрастні речовини для одержання зображення методом магнітного резонансу; – наночастинки оксиду кремнію (антиоксиданти) при виробництві біологічно активних добавок у їжу з антиоксидантною дією; – масляні наносфери (доставляють біочастинки крізь клітинні оболонки бактерій) для засобів дезінфекції

Таблиця 4

Прогноз виходу на стадію комерційного застосування наноматеріалів, що знаходяться у стадії розробки у секторі «Медицина і біотехнології» світового ринку нанопродуктів

№ з/п	Тип наноматеріалу	Найменування наноматеріалу	Рік						
			2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Тонкі плівки і покриття нанорівня	Покриття, що захищають від впливу магнітних полів при проведенні МРТ (НАР-покриття) – наноматеріали з заліза і кераміки для покриття медичного обладнання (стінки для судів та інших органів)	➤	•	✓				
		Наноструктурні плівки фосфату кальцію і гідроксиапатит, біосумісні покриття для медичних приладів та імплантатів	•	✓					
2	Тверді наночастинки	Аптамери для молекулярних біопрепаратів при формуванні зображення у приладах позитронно-емісійної томографії	➤		•	✓			
		Ліпіди, полімери, дендрити (полімерні частинки дендритів) для засобів точкової доставки лікарських засобів до місця дії	+	➤		•	✓		
3	Полі наночастинки	Вуглецеві нанотрубки, фулерени, нанокapsули для пристроїв точкової доставки лікарських засобів	+	➤		•	✓		
4	Монолітні матеріали з наноструктурою	Наноструктурований титан для створення імплантатів з покращеною біосумісністю	•		✓				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Нанокompозити	Колагенове волокно/фосфат калію (гідроксиапатит) для заміників кісної та зв'язувальної тканини	+	➤			•	✓	

- + фундаментальні дослідження і розробки;
- прикладні дослідження і розробка технології;
- дослідні зразки та їх застосування;
- ✓ початок комерційного виробництва і вихід продукції на ринок.

Таблиця 5

Сьогодення й майбутнє у застосуванні наночастинок

№ з/п	Галузь застосування	У розробці	На ринку	Добре вивчено
1	Медицина, охорона здоров'я	– Нанокристалічні ліки для легко-го розсмоктування; – інсулін, що вдихається; – наносфери для ліків, що вдиха-ються; – стимулятори росту кісток; – використання квантових точок для виявлення вірусів; – антиракове лікування; – покриття для імплантів (наприклад, гідроксиапатит)	– Креми й лосьйони від засмаги, що використо-вують Zn і Ti ₂ ; – молекулярне маркуван-ня: квантові точки, CdSe; – засоби доставки ліків з малою розчинністю у воді	– Фунгіцид на основі Zn; Au для біомаркування й виявлення; – агенти контрастного відо-браження магнітного резо-нансу, що використовують надпарамагнетичний оксид заліза
2	Виробництво продук-тів харчування	Контрольована доставка гербіци-дів і пестицидів	–	Добавки в ґрунт на основі заліза

Таблиця 6

Рейтинг секторів світового ринку нанопродуктів за обсягами продажів у 2014 р. (млн дол.) і за темпами зростання у 2009 – 2014 рр. (%)

№ з/п	Сектор ринку нанопродуктів	Обсяг продажів у 2014 р., млн дол. США	Середньорічне зростання у 2009 – 2014 рр., %
1	Наноматеріали	16 702,9	10,6 (3)
2	Обробна промисловість та інші застосування	6 396,4	10,1 (4)
3	Енергетика	6 028,6	9,2 (5)
4	Медицина і біотехнології	4 642,3	12,1 (2)
5	Електроніка і ІКТ	1 750,8	26,2 (1)
Усього		35 521,0	

Крім того, у результаті виконаних прогнозів фахівців Інституту стратегічних досліджень (Росія), консалтингової компанії Lux Research (США), Асоціації незалежних дослідницьких інститутів (Association of Independent Research Institutes, Великобританія), Центра нанотехнологій (Nanotec IT, Італія) та ін., а також на підставі матеріалів дорожніх карт розвитку нанотехнологій (Roadmaps at 2015 on nanotechnology application in the sectors of materials, health & medical systems, energy, 2006) виділяють *три основні етапи розвитку* поколінь нанорозробок (табл. 7) [5, с. 361 – 363].

Основні напрями використання нанотехнологій і наноматеріалів в агропромисловому комплексі (АПК) такі [6, с.351 – 357]:

- ✦ біотехнологія (перш за все це відноситься до генної інженерії);
- ✦ виробництво і переробка продукції АПК;

- ✦ очищення води;
- ✦ вирішення проблем якості сільськогосподарської продукції;
- ✦ охорона навколишнього середовища (зокрема сільськогосподарських угідь).

Однією з найголовніших проблем найближчих десятиліть стане *проблема забезпечення людства достатньою кількістю питної води*. Враховуючи поточні обсяги споживання води, зростання населення і розвиток промисловості, до 2050 р. дві третини населення Землі будуть відчувати нестачу придатної до вживання прісної води. Застосування нанотехнологій, перш за все, для очищення і дезінфекції води дозволить вирішити вказану проблему за рахунок використання дешевої децентралізованої системи очищення і опріснення води, систем відділення забруднюючих речовин на молекулярному рівні і фільтрації нового покоління.

Основні етапи розвитку й появи поколінь нанорозробок

№ з/п	Етап	Назва	Характеристика
1	Перший етап, 2000 – 2005 рр.	«Пасивні наноструктури» (інкрементні нанотехнології)	1. Виробництво й застосування нанодисперсних порошків, які з метою модифікації властивостей базових матеріалів вводили в різні конструкційні матеріали: метали й сплави, полімери й кераміку, а також додавали в ліки, косметику, їжу й інші вироби. 2. Це досить примітивне покоління наноматеріалів уже широко освоєно виробництвом і застосовується в багатьох товарах народного споживання. 3. Лише деякі нанорозробки знайшли своє застосування у високотехнологічних галузях промисловості
2	Другий етап, 2005 – 2015 рр. Два періоди: (2005 – 2015 рр.); (2010 – 2015 рр.)	«Еволюційні нанотехнології» Два періоди: «активні наноструктури»; «системи наносистем»	1. Прорив у галузі нанотехнологічної інноваційної діяльності. 2. Створення компонентів наноелектроніки, фотоніки, нанобіотехнологій , медичних товарів і обладнання, нейроелектронних інтерфейсів і наноелектромеханічних систем (НЕМС). 3. Значне зниження ролі первинних наноматеріалів (пасивних наноструктур). 4. Розширене застосування нанобіотехнологій у фармацевтичній промисловості (до 23%), а також косметичній галузі і сільському господарстві. 5. Нанотехнології будуть використовуватися у всій (100%) комп'ютерній і радіоелектронній техніці, у 85% побутової та автомобільної техніки. 6. Початок переходу до керованого самоскладання наносистем, створення тривимірних мереж, нанороботів і т. ін. Створення прототипів (у лабораторних умовах)
3	Третій етап, після 2020 р.	«Молекулярні наносистеми» (радикальні нанотехнології)	1. Молекулярні пристрої , атомний дизайн і т. ін. 2. До 2040 р. буде вдосконалено «універсальний реплікатор», заснований на нанотехнологіях, який дозволяє створювати об'єкт будь-якої складності за наявності сировини й інформаційної матриці. 3. Повна трансформація промисловості й сільського господарства , поява кіборгів, розвиток мистецтв, розваг, освіти

Так, наприклад, компанія IBM підписала угоду з урядом Саудівської Аравії щодо відкриття лабораторії «Green nanotech», найважливішою задачею якої буде створення системи очищення води з використанням нових наномембранних матеріалів для зворотнього осмосу і знесолення морської води [3, с. 49].

Іншою важливою проблемою є *підвищення врожайності у сільському господарстві*. Не дивлячись на протести світової громадськості, у ряді регіонів світу, особливо у зв'язку з великим приростом населення і несприятливими умовами для сільськогосподарських робіт, продовольчу проблему не вдасться вирішити без розробки, створення і виробництва методами біо- і нанотехнологій трансгенних високопродуктивних рослин, що будуть витривалими до вірусної інфекції.

Передбачається, що застосування нанотехнологій дозволить змінити техніку обробки земель за рахунок використання наносенсорів, нанопестицидів і системи децентралізованого очищення води. Нанотехнології зроблять можливим лікування рослин на генному рівні, дозволять створити високоврожайні сорти, які будуть особливо стійкими до несприятливих екологічних умов.

У *рослинництві* застосування нанопорошків, сумішених з антибактеріальними компонентами, забезпечує підвищення стійкості до несприятливих погодних умов і приводить до двохкратного підвищення врожайності багатьох продовольчих культур, наприклад картофелю, зернових, овочевих і плодово-ягідних культур. Цеолітні матеріали можуть успішно застосовуватись у складі добрив для забезпечення більш подовженої дії (ефект пролонгації), запобігання вимивання поживних речовин після внесення, як носіїв пестицидів, для оптимізації кислотності ґрунтів, а також для запобігання злежування мінеральних добрив у процесі зберігання. Можуть бути одержані нові типи нанобіотехнологічних препаратів для боротьби з фітопатогенними бактеріями на основі використання нових мікроорганізмів – хижих нанобактерій, свого роду «живих антибіотиків» для рослин. Нанотехнології можуть також успішно застосовуватись для оптичного розшифрування білково-ліпідно-вітамінно-хлорофільного комплексу у рослинництві, а також для зниження шкідливого впливу автотракторного парку на природне середовище.

У тваринництві нанотехнології можуть використовуватись для створення біосумісних матеріалів, перестройки і розбудови тканин, створення штучних тканин, що не відторгаються організмом, і сенсорів (молекулярно-клітинна організація). Нанодомішки знаходяться широке застосування у виробництві кормів, де забезпечують підвищення продуктивності тварин в 1,5 – 3 рази, а також сприяють їх опору інфекційним хворобам і стресам. Нанорозмір кормових добавок дозволяє не тільки значно знизити їх витрати, але й забезпечити більш повне і ефективне засвоєння тваринами.

Ще один важливий напрямок нанотехнологічних робіт у сільському господарстві – дослідження в галузі *біонанотехнологій*. До них відносяться дослідження з таких напрямків:

- ★ спрямованого білкового синтезу для одержання пептидів зі бажаними імунотенніми властивостями;
- ★ створення векторних систем для клонування імунотенно значущих білків збудників особливо небезпечних хвороб тварин, а також вакцин нового покоління, що мають високу активність і безпечність;
- ★ одержання наночастинок генно-інженерних протеїнів, розробки біотипів і тест-систем для біологічного скринінгу, імунотенного моніторингу і прогнозування небезпечних і економічно значущих інфекційних захворювань тварин;
- ★ впровадження мембранних систем очищення, а також біоцидних покриттів і матеріалів на основі срібла, що буде сприяти спрощенню і підвищенню рівня утримання сільськогосподарських тварин, забезпеченню їх якісною питною водою;
- ★ розробки нанобіотехнологічних методів виявлення маркерів, зціплених із господарсько цінними ознаками, вірусними, бактеріальними і паразитарними захворюваннями риб та їх можливому застосуванню у практиці рибоводства;
- ★ розробки нанобіотехнологій функціональних харчових добавок і речовин із застосуванням методів ультра- і нанофільтрації, нанокапсулювання, дезінтеграції, а також використанням спрямованої ферментативної модифікації нанобіоструктур (наприклад сирів, йогуртів тощо) і т. ін.

Так, харчові компанії все частіше використовують у продовольчих товарах (продукти харчування, напої, жувальна гума) біологічні наночастинки розмірами в декілька сотень атомів. Наприклад, нанометрів шар діоксиду титану, що нанесено на шоколадний батончик Mars, збільшує термін його зберігання у кілька разів. Фактично виходить продукт, який упакований в оболонку (нанофольгу) з діоксиду титану. При цьому сам нанометрів оксид титану також спроможний засвоюватися організмом. У той же час, як і для нанокосметики, ступінь безпеки широкого застосування нанотехнологічних добавок поки ще однозначно не встановлено.

Нідерландська фірма Friesland Foods – один з найбільших у світі виробників сирів – розробляє технологію застосування нанорозмірних сит, що більш прийнятні з точки зору безпеки кінцевого продукту. Ціль цих робіт – високоефективне розділення (сепарація) молока на протеїни, полісахариди і молекули жирних кислот. Уже в недалекому майбутньому нанотехнологічні добавки, спроможні змінювати смак і поживні якості продуктів, стануть обов'язковим компонентом багатьох харчових продуктів.

З метою розвитку нанотехнологічних і біотехнологічних досліджень та комерціалізації їх результатів в Україні стало започаткування у 2003 р. Національною академією наук України (НАНУ) *цільової комплексної програми «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій»* [7]. Сумарне фінансування першого етапу програми за період 2003 – 2006 рр. склало близько 33 млн грн. Дослідження проводились за 13-ма напрямками теоретичного та експериментального вивчення наносистем, з яких за напрямом **«Біонаноматеріали: синтез та властивості»** було виконано 5,6% від загальної кількості виконаних проектів [8]. Комплексна програма була продовжена на 2007 – 2009 рр. за 14-ма напрямками у 4-х розділах: «Фізика та діагностика нанорозмірних систем», «Хімія наноматеріалів та наноструктур», «Технології наноматеріалів», «Біонаносистеми» [9, 10].

Крім того, у рамках виконання *Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку у 2004 – 2006 рр.* у результаті експертного опитування близько 700 учених і фахівців, здійсненого у три тури за методом Дельфі, було сформовано ієрархію науково-технічних та інноваційних пріоритетів на довго-, середньо- та короткострокову перспективу [11, 12]. Пріоритети і технології для України за напрямом **«Біонаносистеми»** наведено в табл. 8 [11, с. 44].

Указані дослідження були продовжені фахівцями УкрІНТЕІ в рамках виконання *Державної програми прогнозування науково-технологічного розвитку України на 2008 – 2012 рр.*, затвердженої постановою КМУ від 11.09.2007 р. № 1118 [13, 14].

Крім того, постановою Бюро Президії НАН України від 31.01.08 № 23 було затверджено перелік найважливіших напрямів наукових досліджень і розробок, в якому за напрямком наукових досліджень **«Наноматеріали і нанотехнології»** було визнано за пріоритетні розробки у таких сферах, як: «Наноструктурні матеріали з заданими властивостями, технологічне обладнання»; «Наноелектроніка»; **«Нанохімічні та нанобіологічні технології»** (табл. 9) [15].

У 2009 р. була затверджена *Державна цільова науково-технічна програма «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр.* відповідно до постанови КМУ від 28.10.09 р. № 1231 [16]. Очікуваними результатами виконання програми стануть: розробка нанотехнологій, **нанобіотехнологій**, дослідно-промислових технологій; виготовлення наноматеріалів, вимірювальних приладів, типономіналів; створення біоелементів, біосенсорів, нанофотокаталізаторів; утворення підрозділів, центрів сертифікації; впровадження нанотехноло-

гій. Програмою також припускається створення базових наукових кафедр по спеціальностям: «Нанофізика», «Наноелектроніка», «Нанобіомедицина», «Наноматеріалознавство» в усіх вузах держави [17].

Загальний орієнтовний обсяг коштів, необхідних для виконання програми, становить 1,847 млрд грн. У табл. 10 наведено прогнозні обсяги і джерела фінансування Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. [17].

Для порівняння: в рамках РП-7 Європейського Союзу на розвиток нанотехнологій тільки у 2011 р. перед-

бачено виділити 270 млн євро, сконцентрувавши їх на тих розробках, які можуть завершитися патентуванням та комерціалізацією результатів! [18]. У Росії на розвиток нового стратегічного напрямку – наноіндустрія – у рамках спеціалізованої національної програми на 2008 – 2012 рр. виділено 8 млрд дол. США [19, с.222].

Проекти вказаної Державної цільової науково-технічної програми реалізуються у 9-ти найважливіших напрямках нанодосліджень. Розподіл за пріоритетними напрямками нанодосліджень запланованих та фактичних коштів і проектів у 2010 р. представлено в табл. 11 [8].

Таблиця 8

Пріоритети і технології для України за напрямом «Біонаносистеми».

Пріоритети досліджень світового рівня	Пріоритети і технології для України за напрямом «Біонаносистеми»				
	Найбільш вагомі сфери досліджень	Найбільш значимі досягнення, конкурентні на світовому ринку	Найбільш важливі технології	Перспективні технології	Найбільш важливі напрями досліджень у довгостроковій перспективі (15 – 20 років)
– Виробництво харчових продуктів домішок; – одержання ліпідів і низькомолекулярних біологічно-активних з'єднань; – молекулярна діагностика; – імунобіотехнології; – біодеградація; – біосенсорика; – розробки фармацевтичних препаратів і т. ін.	– Створення і використання генетично модифікованих рослин і грибів, трансгенних тварин; – створення і використання традиційних і рекомбінантних мікроорганізмів; – медичні біотехнології; – технологія виробництва біосенсорів для аналізу змісту різних з'єднань і т. ін.	– Технологія одержання рекомбінативних білків у рослинах і мікроорганізмах і т.ін.; – розробка тест-систем для діагностики вірусних і бактеріальних захворювань; – створення пробіотичних препаратів; – біотехнології захисту будівель і металевих конструкцій; – біотехнології захисту навколишнього середовища; – технології виготовлення протиракових вакцин і т. ін.	– Створення трансгенних рослин; – очищення води; – діагностичні тест-системи протиінфекційних агентів; – виділення і використання стовбурових клітин і т. ін.	– Мікробіологічні засоби захисту рослин; – біотехнології виробництва грибів; – генетичне перетворення мікроорганізмів; – генна терапія і т. ін.	– Медичні біотехнології; – одержання трансгенних рослин, тварин і грибів; – розробка фармацевтичних препаратів; – клітинна і генна терапія і т. ін.

Таблиця 9

Найважливіші напрями наукових досліджень та розробок НАН України, зокрема за напрямом «Біонаносистеми»

№ з/п	Глобальна проблема людства	Напрямок наукових досліджень	Розробки
1	2	3	4
1	Депопуляція і старіння населення	1. Новітні біотехнології для охорони здоров'я, фармакології та АПК	1.1. Клітинні та молекулярні технології для медицини та сільського господарства. 1.2. Генноінженерні технології з використанням рекомбінантних білків для діагностики та лікування інфекційних та інших поширених захворювань. 1.3. Методи молекулярної діагностики спадкових та злоякісних захворювань. 1.4. Нове покоління лікарських препаратів для профілактики та лікування серцево-судинних, неврологічних й інфекційних захворювань.

1	2	3	4
			1.5. Створення системи виявлення та моніторингу генетично модифікованих організмів на ринку України. 1.6. Створення ефективної системи протидії біоагрозам різноманітного походження, а саме: біобезпека, пов'язана з ліками, епідеміями, проявами біотероризму
2	Нестача продовольства	2. Високопродуктивне сільське господарство	2.1. Генетика і селекція високопродуктивних сільськогосподарських культур і тварин. 2.2. Економіко-правові проблеми забезпечення ефективного агропромислового виробництва та розвитку сільських територій. 2.3. Якісна і безпечна продукція рослинництва і тваринництва для продуктів харчування і промислової сировини. 2.4. Системи дистанційного моніторингу стану ґрунтів і посівів сільськогосподарських культур

Таблиця 10

Прогнозні обсяги і джерела фінансування Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр.

№ з/п	Джерела фінансування	Обсяг фінансування, млн грн	У тому числі за роками				
			2010	2011	2012	2013	2014
1	Державний бюджет	1682,3	336,35	356,25	368,15	325,7	295,85
2	Інші джерела	164,8	24,85	35,75	41,6	32,8	29,8
	Усього	1847,1	361,2	392,0	409,75	358,5	325,65

Таблиця 11

Розподіл за пріоритетними напрямками нанодосліджень коштів та проектів у 2010 р. у рамках «Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр.»

№ з/п	Основні напрями нанодосліджень	Питома вага запланованих коштів, %	Питома вага фактично виділених коштів у 2010 р., %	Питома вага за фактичною кількістю проектів у 2010 р.
1	Нанобіотехнології	24,9	17,5	22,5
2	Наноелектроніка і нанофотоніка	21,0	–	–
3	Наноматеріали	19,5	21,1	14,2
4	Діагностика наноструктур	9,1	10,9	10,8
5	Забезпечення розвитку наноіндустрії	7,5	4,1	1,6
6	Технології напівпро-відникових наноструктур	6,5	10,8	15,9
7	Фізика наноструктур	5,5	17,8	18,3
8	Нанохімія	5,1	17,8	16,7
9	Нанобезпека	0,9	–	–

У 2011 – 2012 рр. продовжувалось виконання вказаної програми відповідно до розпорядження Президії НАН України від 17.02.11 р. № 102 «Про затвердження на 2011 рік переліку наукових проектів Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр.» [20, 21]. Слід відзначити, що загальний обсяг коштів, виділених на реалізацію програми у 2011 р., залишився таким самим, як і у 2010 р., тобто 19,155 млн грн проти запланованих 356,25 млн грн.

Таким чином, можна зробити такі **висновки**:

1. Світова *продовольча проблема* є однією з головних невирішених проблем людства, яка на початку

XXI століття набула глобального багатофакторного характеру. Сьогодні, напочатку другого десятиліття XXI століття, *нанотехнології та біотехнології стають усе більш реальним інструментом*, за допомогою якого людство сподівається досягти цілей і вирішити глобальні проблеми.

2. До сектора ринку нанопродуктів «Наномедицина і біотехнологія» відносяться лікарські препарати, методи медичних досліджень і прилади для клінічної діагностики, продукти кінцевого споживання (такі, як косметичні засоби і харчові добавки), а також продукти харчування і напої, при створенні яких застосовуються наноматеріали і (або) нанотехнології.

3. З урахуванням динаміки, що складається, рейтинг секторів нанотехнологічного ринку за обсягами продажів та в найближчий перспективі у 2009 – 2014 рр. збережеться. При цьому *друге місце за темпами зростання очікується в секторі «Медицина і біотехнології»*, що перемістить цей сектор з передостанньої рейтингової позиції.

4. Проблему *підвищення врожайності у сільському господарстві* не вдасться вирішити без розробки, створення і виробництва методами біо- і нанотехнологій трансгенних високопродуктивних рослин, що будуть стійкими до вірусної інфекції. Крім того, нанобіотехнології дозволять змінити техніку обробки земель за рахунок використання наносенсорів, нанопестицидів і системи децентралізованого очищення води, зроблять можливим лікування рослин на генному рівні, дозволять створити високоврожайні сорти.

5. У *рослинництві* застосування нанопорошків, суміщених з антибактеріальними компонентами, забезпечить підвищення стійкості до несприятливих погодних умов і призведе до двохкратного підвищення врожайності багатьох продовольчих культур. Цеолітні матеріали можуть успішно застосовуватись у складі добрив для забезпечення більш подовженої дії. Можуть бути одержані нові типи нанотехнологічних препаратів для боротьби з фітопатогенними бактеріями на основі використання нових мікроорганізмів. Нанобіотехнології можуть також успішно застосовуватись для оптичного розшифрування білково-ліпідно-вітамінно-хлорофільного комплексу в рослинництві, а також для зниження шкідливого впливу автотоксичного парку на природне середовище.

6. У *тваринництві* нанобіотехнології можуть використовуватись для створення біосумісних матеріалів, перебудови і розбудови тканин, створення штучних тканин, що не відторгаються організмом, і сенсорів (молекулярно-клітинна організація). Нанодобавки знаходять широке застосування у виробництві кормів, де забезпечують підвищення продуктивності тварин в 1,5 – 3 рази, а також сприяють їх опору інфекційним хворобам і стресам.

7. Дослідження в галузі *біонанотехнологій*, зокрема зі спрямованого білкового синтезу, будуть використані для: одержання пептидів із бажаними імуногенними властивостями; створення векторних систем для клонування імунологічно значущих білків збудників особливо небезпечних хвороб тварин; розробки вакцин нового покоління, що мають високу активність і безпечність; одержання наночасток генно-інженерних протеїнів; розробки біотипів і тест-систем для біологічного скринінгу, імунологічного моніторингу і прогнозування небезпечних і економічно значущих інфекційних захворювань тварин; впровадження мембранних систем очищення, а також біоцидних покриттів і матеріалів на основі срібла з метою сприяти спрощенню і підвищенню рівня утримання сільськогосподарських тварин, забезпеченню їх якісною питною водою; розробки нанобіотехнологічних методів виявлення маркерів, зціплених із господарсько-цінними ознаками, вірусними, бактеріальними і паразитарними захворюваннями риб та їх можливе застосування у практиці рибоводства.

8. Реалізація державних програм у сфері нанотехнологій дозволила визначити *інтелектуальний потенціал українських учених* у розвитку нанобіотехнологічних досліджень та потенціальні можливості їх комерціалізації.

9. На найвищому державному рівні в Україні розвиткові досліджень і розробок у сфері нано- і біотехнологій як до *ключових факторів* у найближчому майбутньому не приділяють відповідної уваги. Про це свідчить динаміка фінансування програм з розвитку нанотехнологій. Визначення пріоритетів нанотехнологічних досліджень носить безсистемний характер, *слабо пов'язане з вирішенням глобальних і специфічних проблем України* (у тому числі продовольчої проблеми), не відповідає пріоритетам бюджетного фінансування.

10. Комплексна програма фундаментальних досліджень «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» на 2010 – 2014 рр. і Державна цільова науково-технічна програма «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. *не мають загальнонаціонального характеру, не вирішують завдання подолати стратегічне відставання України* у сфері нанотехнологій та відновлення паритетного становища з розвиненими країнами, слабо впливає на вирішення продовольчої проблеми.

11. Необхідна розробка *Стратегії розвитку нанотехнологій в Україні* у відповідності до глобальних проблем людства, створення *Національної програми розвитку нанотехнологій і біотехнологій в Україні*, в якій будуть ув'язані чіткі пріоритети наукових досліджень, забезпечення фінансуванням (за етапами робіт), організаційна підтримка держави, механізми впровадження у підприємницький сектор, критерії результативності заходів і підзвітність відповідальних виконавців перед урядом (за бюджетне фінансування) та підприємцями (за позабюджетні кошти). ■

ЛІТЕРАТУРА

1. Кизим М. О. Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в економіках країн світу та України : монографія / М. О. Кизим, І. Ю. Матюшенко. – Х. : ВД «ІНЖЕК», 2011. – 392 с.
2. Головин Ю. И. Введение в нанотехнику / Ю. И. Головин. – М. : Машиностроение, 2007. – 496 с.
3. Рынок нано: от нанотехнологий – к нанопродуктам / Г. Л. Азоев и др. ; под. ред. Г. Л. Азоева. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 319 с.
4. Кейси П. Технологии наночастиц и их применение // Наноструктурные материалы ; Под ред. Р. Ханнинка, А. Хилл. – М. : Техносфера, 2009. – 488 с.
5. Сергеев Д. Перспективы развития нанотехнологий / [Электронный документ]. – Режим доступа : <http://www.artkis.ru/nano.html>
6. Балабанов В. И. Нанотехнологии: правда и вымысел / В. Балабанов, И. Балабанов. – М. : Эксмо, 2010. – 384 с.
7. Структура Комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології за напрямками у період 2003 – 2006 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.nanotech.nas.gov.ua/2003_2006/Pages/default.aspx – Назва з екрану.

- 8. Віннікова Н. М.** Стан розвитку програм у сфері нанотехнологій в Україні // Проблемы и перспективы развития экономики. Материалы XVI международной научно-практической конференции (Алушта, Украина, 12 – 16.09.11 г.). – Симферополь : «ИТ АРИАЛ», 2011. – С. 199 – 206.
- 9.** Структура Комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології за напрямками у період 2007 – 2009 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.nanotech.nas.gov.ua/Activity/ScientificEffort/ComplexProgram/Pages/01.aspx> – Назва з екрану.
- 10.** Концепція Комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології за напрямками у період 2007 – 2009 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.nanotech.nas.gov.ua/Activity/ScientificEffort/ComplexProgram/Pages/01.aspx> – Назва з екрану.
- 11. Маліцький Б. А.** Перспективні напрями науково-технічного та інноваційного розвитку України / Б. А. Маліцький, О. С. Попович, В. П. Соловйов. – К. : Фенікс, 2006. – 208 с.
- 12.** Зведений прогноз науково-технологічного та інноваційного розвитку України на найближчі 5 років та наступне десятиліття. – К. : Фенікс, 2007. – 152 с.
- 13. Кваша Т. К.** Державна програма прогнозування науково-технологічного розвитку на 2008 – 2009 рр.: підсумки 2008-го / Т. К. Кваша, Л. А. Мусіна, Т. В. Писаренко // Світ. – 2009. – № 17-18.
- 14. Якимчук А. В.** Результати виконання I етапу Державної програми прогнозування науково-технологічного розвитку на 2008 – 2012 рр. / А. В. Якимчук, Т. К. Кваша // Матеріали П'ятої міжнародної науково-практичної конференції 2-3 квітня 2009 р. : 36 наук. статей. – Львів : ЛвЦНТЕІ, 2009. – С. 70 – 74.
- 15.** Постанова Бюро Президії НАН України від 31.01.08 № 23 «Перелік найважливіших напрямів наукових досліджень і розробок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.nas.gov.ua/infrastructure/Legaltexts/ResearchTopics/2008> – Назва з екрану.
- 16.** Постанова КМУ від 28.10.09 р. № 1231 «Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon.nau.ua/doc/?code=1231-2009-%EF> – Назва з екрану.
- 17.** Концепція Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.nano.nas.gov.ua/UA/nasu/nanoprogramms/Pages/WorkingGroup.aspx> – Назва з екрану.
- 18.** MEMO/10/229 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ec.europa.eu/research>
- 19.** Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження / Г. О. Андрощук, А. В. Якимчук, Н. В. Березняк та ін. : монографія. – К. : УкрІНТЕІ, 2011. – 275 с.
- 20.** Розпорядження № 102 від 17.02.2011 р. «Про затвердження на 2011 рік переліку наукових проектів Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nas.gov.ua/infrastructure/Legaltexts/nas/2011/directions/Pages/102.aspx> – Назва з екрану.
- 21.** spnano2010.ua/Проекти.