

УДК 632.95

НАНОТЕХНОЛОГИИ И ПЕСТИЦИДЫ (ДАЙДЖЕСТ ПУБЛИКАЦИЙ ЗА 2011–2017 гг.)

© 2019 г. С. Г. Жемчужин¹, Ю. Я. Спиридонов^{1,*}, И. Ю. Клейменова², Г. С. Босак¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 п/о Большие Вяземы, Московская обл., ул. Институт, 5, Россия

² Всероссийский институт научной и технической информации
125315 Москва, ул. Усиевича, 20, Россия

*E-mail: spiridonov@vniif.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

После доработки 06.12.2018 г.

Принята к публикации 10.02.2019 г.

В дайджесте представлена текущая отечественная и зарубежная информация о различных направлениях применения нанотехнологий в сельском хозяйстве (публикации за 2011–2017 гг.). В связи с ежегодным перманентным возрастанием числа публикаций существует необходимость постоянно-го и оперативного мониторинга публикуемых в мире сообщений с целью обеспечения их доступности широкому кругу научных работников и практиков.

Ключевые слова: нанотехнологии, пестициды, публикации за 2011–2017 гг.

DOI: 10.1134/S0002188119050120

За последние десятилетия нанотехнологии развиваются чрезвычайно быстро, и расширяется их применение в различных областях хозяйственной и научной деятельности человечества, в том числе в сельском хозяйстве. В обзоре представлена разнообразная информация о применении нанотехнологий в системе защиты растений, а также в агроэкологических защитных мероприятиях.

Оценена возможность уменьшения загрязнения почв с помощью нано- и агротехнологий в севооборотах. Установлено, что при использовании предложенных технологий возделывания уменьшаются затраты на выращивание сельскохозяйственных культур на 53% и загрязнение почв [1]. Фотовосстановлением на поверхности анатаза TiO_2 получены наночастицы серебра, улучшающие биоцидные свойства водоразбавляемых красок для фасадов зданий [2].

Оценена бактерицидная активность наночастиц серебра по отношению к *Escherichia coli* в качестве модельного микроорганизма. Выявлены преимущества наночастиц в сравнении с бактерицидами гипохлоритом натрия и фенолом с точки зрения экологии [3]. Из полиамида и ацетатцеллюлозы получены нановолоконные сетки, содержащие 33% феромона, освобождающегося в полевых условиях и защищающего растения от вредных насекомых [4]. Получены новые инсек-

тицидные быстро деградирующие нанокомпозиты W-TiO_2 —авермектин, содержащие инкапсулированные микрокристаллы инсектицида [5]. Представлена эффективная стратегия борьбы с вредными для животных бактериями *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli* с помощью магнитных наночастиц оксида железа, покрытых карбоксиметилхитозаном [6].

Исследована фунгицидная активность наноразмерной серы в сравнении с активностью известных фунгицидов. Установлено, что экологически безопасная наноразмерная сера по активности не уступает большинству ныне применяемых препаратов [7]. Опубликованы данные исследований обработки семян озимой пшеницы нанобиосеребром. Установлено фунгицидное и ростстимулирующее действие нанобиосеребра в концентрации 25–200 мг/л [8]. Изучали инкапсулирование в покрытых оболочкой нанокапсулах и контролируемое высвобождение пестицида метомила [9]. Обсуждены успехи в разработке методов получения наночастиц мезопористого диоксида кремния и их применения в качестве носителей в системах контролируемой доставки пестицидов [10]. Разработан автоматизированный метод очистки экстрактов с использованием углеродных нанотрубок для определения остатков пестицидов в зерне [11]. Описано применение модифи-

цированных магнитных (на основе Fe_3O_4) наночастиц для использования в качестве сорбента для экстракции при определении остатков пестицидов во фруктах [12]. В качестве субстрата для усиленной поверхностью Раман спектроскопии (*SERS*) пестицидов предложены микросферы Fe_3O_4 , покрытые наностержнями золота [13].

Обсуждены перспективы получения нанокапсулированных пестицидов для ресурсосберегающего земледелия и рассмотрены определенные трудности разработки эффективных наноносителей [14]. Методами нанотехнологии и микробиотехнологии получены комплексы наночастиц серебра с бактериальными штаммами в качестве инсектицидов для контроля комаров [15]. Представлены нанотехнологии в производстве новых фунгицидных нанопротравителей для защиты растений, используемые фирмой “Шелково Агрохим” [16]. Приведен обзор применений наносuspензий в защите растений и медицине. Рассмотрены способы гомогенизации при приготовлении наносuspензий, повышения их стабильности при хранении и улучшения технологических параметров [17]. Оценен потенциал транспорта к растениям разработанных на основе производных метакриловой кислоты нанокапсул, загруженных пестицидом бифентрином [18].

Весьма широко изучают возможности использования нанотехнологий в анализе пестицидов: гербицидов, инсектицидов, фунгицидов. Описаны получение, характеристика и внутриклеточная визуализация золотых наностержней, конъюгированных с 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислотой (2,4-Д), которые можно использовать как флуоресцентную метку для оценки распределения 2,4-Д в клетках растений [19]. Для визуализации биораспределения 2,4-Д в клетках растений синтезированы наночастицы золота, функционализированные гербицидом [20]. Описано определение триазиновых гербицидов в воде капиллярным электрофорезом в сочетании с твердофазной экстракцией с помощью магнитного наноконцентра [20]. Модифицированные карбоксилатопиаллар[5]аренном наночастицы золота с введенным виологеном использовали в качестве сенсора на гербицид паракват [22]. Разработан эффективный адсорбент триазинового гербицида аметрина на основе наночастиц железа, стабилизированных 1-бутил-3-метилимидазолийбромидом [23].

Предложено определение остатков атразина в воде с помощью усиленного магнитным и наночастицами иммуносенсора поверхностного плазменного резонанса [24]. Оценивали эффектив-

ность нанофильтрующих мембран для извлечения атразина и диметоата из водных растворов [25].

Осуществлен синтез крмнеземных нанокапсул с включенными в них антифоулингами 2-меркаптобензотиазолом и 4,5-дихлор-2-октил-4-изотиазолин-3-оном [26]. Проведена экотоксикологическая оценка нанокапсул поли-*e*-капролактона, содержащих триазиновые гербициды [27]. Усиленную поверхностью Рамановское рассеяние (*SERS*) использовали с применением наночастиц золота для определения инсектицида эндосульфана [28]. Разработан новый электрохимический биосенсор для обнаружения фосфорорганических пестицидов на основе наноцепочек Pd-графитизированного нитрида углерода и ацетилхолинэстеразы [29]. Проведено определение инсектицидов имидаклоприда, ацетамиприда и тиабендазола в воде, яблоках и картофеле спектроскопией усиленной поверхностью Рамановского рассеяния на полиметакрилате, модифицированном наночастицами золота [30]. Разработан ацетилхолинэстеразный биосенсор на основе нанокомпозита углеродных нанотрубок SnO_2 -хитозана для определения хлорпирифоса в овощах и фруктах [31].

Предложен фотоэлектрохимический биодатчик на основе наноструктур для обнаружения фосфорорганических пестицидов [32]. Описан мультианалитный электрохимический иммуносенсор на основе углеродных нанотрубок с упорядоченной структурой для определения пестицидов [33]. Описан интересный метод определения в аквакультуре хромогенного инсектицида малахитового зеленого с использованием наночастиц золота, модифицированных 3,5-диамино-1,2,4-триазолом. Ход процесса контролировали как невооруженным глазом, так и с помощью спектрофотометра [34]. Разработан биосенсор на основе ацетилхолинэстеразы, иммобилизованной на электроде, модифицированном золотыми наностержнями. Сенсор предназначен для обнаружения фосфорорганических пестицидов [35].

Установлено, что гидрогелевые зерна из композита наночастиц золота с хитозаном обеспечивают эффективное удаление инсектицида метилпаратиона из сточных вод [36]. Сконструирован электрохимический сенсор для фосфорорганических пестицидов на основе многостенных углеродных нанотрубок, покрытых наночастицами красителя прусского голубого [37]. Разработан электрохимический сенсор, основанный на матрице графен-нафион для анализа фосфорорганических пестицидов с чувствительностью обнаружения 1.6 мг/мл [38]. Предложен ацетилхолинэстеразный биосенсор для определения органофосфатных пестицидов на основе одностенных

углеродных нанотрубок и о-фталоцианина [39]. Для визуального обнаружения метамидофоса и других органофосфатов в качестве колориметрического датчика использовали Au-наночастицы [40]. Композитные наносферы с квантовыми точками на основе полимера с молекулярными отпечатками использовали для распознавания и прямого флуоресцентного определения диазинона с чувствительностью 50 нг/мл [41].

Для обнаружения в питьевой воде следов гербицида атразина использовали SERS-спектроскопию с регистрацией спектров аналита, введенного в коллоидные наночастицы серебра [42]. При определении пестицидов фората и фентиона в кожуре яблок применяли нанотехнологию и метод SERS [43]. Оценена адсорбция пестицида карбендазина на плазменных наночастицах методом SERS [44].

Приведен обзор применений углеродных нанотрубок в качестве сорбентов при анализе пестицидов [45]. Доложены материалы по проблеме наноразмерных, стерео- и этантиомерных пестицидов: успехи, перспективы и риски [46].

Представлен метод колориметрического определения малатиона с использованием аптамера, катионного пептида и наночастиц золота [47]. Синтезирован магнитный нанокompозит на основе связанного с Fe_3O_4 графена, использованный как адсорбент при магнитной твердофазной экстракции 8-ми хлорорганических пестицидов из апельсинового сока [48].

Установлено, что наночастицы карбоната кальция более эффективны в сравнении с коллоидным карбонатом кальция в питании растений и защите их от вредных насекомых [49]. На основе цинк-оксид/гидроксिलированных мультистенных углеродных нанотрубок разработан новый миниатюризированный микроэкстрактор, использованный для экстракции карбофурановых и карбарильных пестицидов [50]. Золь-гелевым методом готовили титан-диоксид/многослойные углеродные нанотрубки, которые использовали при фотодеградационной инсектицида димеоата [51]. Разработан новый метод определения 7 триазиновых гербицидов в природной воде, использующий твердофазную экстракцию с магнитными наночастицами графена ($\text{G}-\text{Fe}_3\text{O}_4$) в качестве сорбента и ГЖХ–МС [52].

Разработаны нанокапсулы с впечатанным метилпаратионом для эффективного удаления остатков пестицида из окружающей среды [53]. С использованием активированного полированием нано- $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -сорбента приготовлен отличный субстрат для детектирования фосфороргани-

ческих пестицидов [54]. Изучена антигрибная активность наночастиц серебра, приготовленных с использованием экстракта листьев растения *Brassicarapa*, против патогенов, разлагающих древесину [55]. Исследована фунгицидная активность водной наноэмульсии эвгенолового масла с размером частиц 50–110 нм по отношению к патогенному грибу *Fusarium oxysporum*, поражающему проростки семян хлопчатника [56]. Проведен скрининг устойчивости кукурузы, обработанной наночастицами SiO_2 , против фитопатогенов *Fusarium oxysporum* и *Aspergillus niger* [57]. Изучена противогрибная активность функционализированных к кетоконазолам нановолокон поли-*e*-капролиатона против фитопатогенов *Aspergillus flavus*, *A. carbonarius*, *Penicillium citinum* и др. [58].

Методом SERS изучали модельную систему-комплекс фунгицида фербама с наночастицами золота и скорость ее проникновения в листья чая [59]. Методами микроскопии исследовано фунгицидное действие наночастиц олеил-хитозана против возбудителя вилта у растений, гриба *Verticillium dahlia* [60]. Представлен биосинтез стабильных наночастиц серебра обработкой водного раствора AgNO_3 экстрактом листьев *Vernonia cinerea*, размер наночастиц — 5–50 нм. Наночастицы могут быть использованы для контроля бактериального ожога хлопчатника [61].

Получены функциональные нанодиспенсоры путем полимерной инкапсуляции инсектицида имадаклоприда в частицы сополимера молочной и гликолевой кислот, что снижает отрицательное влияние пестицида на окружающую среду [62].

Помещенный в шприц скрепленный полидифениламином нанокompозит из углеродных нанотрубок использовали для микроэкстракции различных пестицидов из водных образцов [63]. Разработан на основе покрытой полианилином структуры многостенных углеродных нанотрубок типа “ядро-оболочка” для электрохимического детектирования пестицидов, в частности карбаматов [64]. Сконструирован электрохимический биосенсор с ацетилхолинэстеразой, иммобилизованной на стеклоуглеродном электроде, покрытом нанокompозитом из полианилин-углеродных нанотрубок. Сенсор предложен для обнаружения карбаматных пестицидов, в частности карбарила и метамила [65]. Для использования при определении карбаматных пестицидов в овощах, фруктах и речной воде методами колориметрии и флуоресценции разработан биосенсор на основе наночастиц серебра, покрытых родамином В [66]. Изготовлены несмываемые наностикеры из модифицированного селенидом меди оксида графе-

на для направленного применения пестицидов в борьбе с вредителями сельскохозяйственных растений [67]. Для твердофазной микроэкстракции хлорорганических пестицидов из воды предложена нанесенная на стальную проволоку наноструктурная композитная пленка полианилин/ионная жидкость (1-бутил-3-метилимидазоли....гексафторфосфат) [68]. Полученные электропрядением полистироловые нановолокна, содержащие калийную соль имидазол-1-карбодитиата, оценивали в качестве сорбента для хлорорганических пестицидов с последующим анализом ГЖХ [69]. Получен магнитный нанокompозит на основе графена, использованный как эффективный адсорбент для концентрирования 5 карбаматных пестицидов с последующим их определением ВЭЖХ [70]. Сконструирован биосенсор на инсектицид тиазофос, основанный на ацетилхолинэстеразе, иммобилизованной на нанокompозите коралло-подобных наночастиц золота, — восстановленный оксид графена [71]. Описан новый метод обогащения и определения 5 пиретроидных инсектицидов в воде из окружающей среды с применением устройства с упорядоченными TiO_2 -нанотрубками и твердофазной микроэкстракции в сочетании с ГЖХ [72]. Описано получение многослойных углеродных нанотрубок с наночастицами Fe_3O_4 для определения следов пиретроидных пестицидов в образцах воды и меди [73].

Оценена биоэффективность против вредителя *Callosobruchus maculatus* 2-х препаратов пиретроида β -дифлутрина, полученных сополимеризацией инсектицида с полиэтиленгликолями [74]. Разработан метод определения гербицида мефенацета и 3-х продуктов его фотолиза в воде методом ЖХ/МС. Аналиты извлекали твердофазной экстракцией с окисленными мультитеночными углеродными нанотрубками в качестве сорбента [75]. В качестве сорбента при микроэкстракции ряда пестицидов из водных образцов использовали скрепленный полидифениламидом нанокompозит, содержащий 4% углеродных нанотрубок [76]. Разработаны и охарактеризованы наномульсии на основе гидрогеля Poloxamer 407, содержащие репеллент против москитов, — этилбутилацетиламинопропионат [77]. Предложен метод определения хлорацетанилидных гербицидов в образцах воды из окружающей среды, включающий твердофазную экстракцию с использованием в качестве сорбента магнитного нанокompозита графен- Fe_3O_4 [78]. Гексагональный наноразмерный мезопористый силикагель использовали при инкапсулировании гербицида 2,4-Д [79]. Полученные восстановлением AgNO_3 в присутствии гуминовых кислот наночастицы Ag использовали

для обнаружения гербицида сульфуразол-этила [80]. Синтезирован новый монофазный наногибрид для контролируемого одновременного высвобождения 2-х активных агентов гербицидной рецептуры, содержащий два гербицидных аниона: 4-(2,4-дихлорфенокси)бутират и 2-(3-хлорфенокси)пропионат, интеркалированные в слоистый двойной гидроксид Zn-Al [81].

Усовершенствован иммуносенсор для пестицидов с помощью сайт-направленной иммобилизации антител и углеродных нанотрубок [82]. Описано приготовление наносuspензий препаратов пестицидов, в частности инсектицида карбофурана, двустадийным размалыванием в системе пестицид—сурфактант—вода в присутствии частиц оксида Zr (0.1–0.2 мм) [83].

Запатентован способ получения нанокапсул цитокининов с использованием в качестве оболочки альгината натрия [84]. При извлечении пестицидов пропоксура, атразина и метадатиона из природных вод с последующим определением ВЭЖХ в качестве сорбента использовали мультитеночные углеродные нанотрубки [85]. При определении в природных оливковых маслах гербицидов и инсектицидов использовали твердофазную экстракцию на углеродных нанотрубках [86]. Приготовлена нанодисперсия инсектицида перметрина, показавшая стабильность в воде заливного рисового поля в течение 48 ч и эффективность против комаров *Culex tritaeniorhynchus* [87]. Представлены сведения о противогрибном действии нанокompозитов на основе акрилатов и функциональных наночастиц (ZnO , SiO_2 , Au, Ag) против патогена *Candida albicans* [88]. Предложен простой и быстрый метод определения гербицидов хлорсульфурина и метсульфуринометила в водных образцах с использованием мультитеночных углеродных нанотрубок и капиллярного электрофореза [89].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ перечисленных в предлагаемом дайджесте публикаций свидетельствует о том, что нанотехнологии прочно вошли в практику сельского хозяйства, а также смежных областей научной и практической деятельности человека. Эти проблемы широко исследуют во всем мире:

— продолжают работы по созданию содержащих пестициды новых наноструктур и способов их доставки к защищаемым сельскохозяйственным растениям;

— создают новые препаративные формы нанопестицидов, оценивают их стабильность и эффективность;

— исследуют безопасность нанопестицидов для окружающей среды;

— широко исследуют возможности использования нанотехнологий в инструментальном и сенсорном анализе нанопестицидов в различных матрицах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Korakhashvili A., Kirvalidze D., Urushadze T.* Reduction of top-soil contamination by nano- and agro-technologies in crop rotations // Изв. аграр. науки. 2011. Т. 9. № 1. С. 120–123.
2. *Glusko M.* Otrzymywanie nanocząstek srebra w procesie fotoredukcji I stosowanie go jako biocydu afarbowodroczniczych // Przen. chem. 2012. V. 91. № 6. P. 1168–1170.
3. *Chamakura K., Perez-Ballester R., Luo Zh., Baskir S., Liu J.* Comparison of bactericidal activities of silver nanoparticles with common chemical disinfectants // Colloid. Surfac. B. 2011. V. 84. № 1. P. 88–96.
4. *Hellman Ch., Greiner A., Wendorff J.* Design of pheromone releasing nanofibers for plant protection // Polym. Adv. Technol. 2011. V. 22. № 4. P. 407–413.
5. *Guan H.-N., Chi De.-Fu., Yu J., Zhang Si-Yu.* Novel photodegradable insecticide W/TiO₂/vermion nanocomposites obtained by polyelectrolytes assembly // Colloid. Surfac. B. 2011. V. 83. № 1. P. 148–154.
6. *Chen T., Wang R., Xu L., Neoh K., Kang E.* Carboxymethyl chitosan-functionalized magnetic nanoparticles for disruption of biofilms // Ind. Eng. Chem. Res. 2012. V. 51. № 40. P. 13164–13172.
7. *Массалимов И., Давлетшин Р., Гайфуллин Р., Зайнитдинова Р., Мусавирова Л.* Сравнение биологических свойств наночастиц серебра и известных пестицидов // Башкир. хим. журн. 2013. Т. 20. № 3. С. 142–144.
8. *Омельченко А., Жижина М., Юркова А.* Влияние обработки семян нанобиосеребром на фитопатогены и ростовые процессы проростков озимой пшеницы // Вестн. ВГУ. Сер. химия, биол., фарм. 2015. № 3. С. 71–74.
9. *Sun Ch., Shu K., Wang W., Ye Zh.* Encapsulation and shell cross-linked nanocapsules containing aqueous core // Inter. J. Pharm. 2014. V. 463. № 1. P. 108–114.
10. *He Sh., Gao Y., Wan H., Ma H.* Recent progress in the application of mesoporous silica nanoparticles to controlled pesticides delivery system // Chin. J. Pest. Sci. 2016. V. 18. № 4. P. 416–423.
11. *Qin Y., Zhang J., Zhang Y., Li F.* Automated multiplug filtration cleanup for LC-tandem MS pesticide multi-residue analysis in representative crop commodities // J. Chromatogr. A. 2016. V. 1462. P. 19–26.
12. *Qi P., Wang Zh., Yang G., Shang Ch.* Removal of acidic interferences in multi-pesticide residue analysis of fruits using modified magnetic nanoparticles prior to determination via ultra-HPLC-MS/MS // Microchim. Acta. 2015. V. 182. № 15–16. P. 2521–2528.
13. *Tang X., Dong R., Yang L., Liu J.* Fabrication of Au nanorod-coated Fe₃O₄ microspheres as SERS.
14. *Grillo A., Abhilash P., Fraceto L.* Nanotechnology applied to bio-encapsulation of pesticides // J. Nanosci. Nanotechnol. 2016. V. 16. № 1. P. 1231–1234.
15. *Soni N., Prakash S.* Antimicrobial and mosquitocidal activity of microbial synthesized silver nanoparticles // Parasitol. Res. 2015. V. 114. № 3. P. 1023–1030.
16. *Желтова Е.В.* Нанотехнологии в защите растений // Вестн. хим. пром-ти. 2014. № 4. С. 38–39.
17. *Pan Zh., Cui B., Cui H., Pan H.* Progress on pesticide nanosuspension and its preparation methods // Chin. J. Pest. Sci. 2014. V. 16. № 6. P. 635–643.
18. *Petoza A., Rajput F., Selvam O., Ohe C.* Assessing the transport potential of polymeric nanocapsules developed for crop protection // Water Res. 2017. V. 111. P. 10–17.
19. *Jia J., Jin X., Lin Q., Liang W.* Preparation characterization and intracellular imaging of 2,4-D conjugated gold nanorods // J. Nanosci. Nanotechnol. 2016. V. 16. P. 4936–4942.
20. *Jia J., Zhu L., Jin X., Wang J. et al.* 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid functionalized gold nanoparticles: synthesis, characterization and biological // J. Mater. Chem. B. 2014. V. 2. № 21. P. 3299–3305.
21. *Li Y., Li Zh., Wang W.* Determination of triazine pesticides in water samples by capillary electrophoresis coupled with solid phase extraction based on magnetic graphene nanocomposite // Chin. J. Anal. Chem. 2015. V. 43. № 12. P. 1882–1887.
22. *Li H., Chen D., Sun Y., Zheng Y.* Viologen-mediated assembly and sensing with sensing with carboxylatopillar[5]arene-modified gold nanoparticles // J. Amer. Chem. Soc. 2013. V. 135. № 4. P. 1570–1576.
23. *Ali I., Al-Othman Z., Alwarthan A.* Green synthesis of functionalized iron nanoparticles and molecular phasoadsorption of ametryn from water // J. Mol. Liq. 2016. V. 221. P. 1168–1174.
24. *Liu M., Peng Y., Zhao Zh., Zhai Z.* Detection of atrazine residues in water by magnetic nanoparticles enhanced surface plasmon resonance immunosensor // Chin J. Pest. Sci. 2015. V. 17. № 6. P. 688–695.
25. *Ahmad A., Tan L., Shucor S.* The role of pH in nanofiltration of atrazine and dimethoate from aqueous solution // J. Hazard. Mater. 2008. V. 154. № 1–3. P. 633–638.
26. *Maia F., Silva A., Fernandes S., Cunha A.* Incorporation of biocides in nanocapsules for protective coatings used in marine applications // Chem. Eng. J. 2015. V. 270. P. 150–157.
27. *Clemente Z., Grillo F., Jonson M., Santos N.* Ecotoxicological evaluation of poly (ε-caprolactone) nanocapsules containing triazine herbicides // Nanosci. Nanotechnol. 2014. V. 14. № 7. P. 4911–4917.
28. *Hernandez-Castillo M., Zaca-Moran O., Zaca-Moran P., Ordana-Diaz A.* Surface-enhanced Raman scattering of the adsorption of pesticide endosulfan on gold nanoparticles // J. Environ. Sci. Health. B. 2015. V. 50. № 8. P. 584–589.
29. *Wang B., Ye C., Zhong X., Chai Y.* Electrochemical biosensor for organophosphatase pesticides detection based on Pd-wormlike-Nanochains-graphitic carbon nitride nanocomposites and acetylcholinesterase // Electroanalysis. 2016. V. 28. № 2. P. 304–311.

30. Zhang H., Kang Y., Liu P., Tao X. Determination of pesticides by SERS on nanoparticle modified polymethacrylate // *Anal. Lett.* 2016. V. 49. № 14. P. 2268–2278.
31. Chen D., Sun X., Guo X., Qino L. Acetylcholinesterase biosensor based on multi-walled carbon nanotubes-SnO₂-chitosan nanocomposite // *Bioproc. Biosyst. Eng.* 2015. V. 38. № 2. P. 315–321.
32. Li X., Zheng Zh., Liu X., Zhao Sh. Nanostructured photoelectrochemical biosensor for highly sensitive detection of organic phosphorus pesticides // *Biosens. Bioelectron.* 2015. V. 64. P. 1–5.
33. Liu G., Guo W., Song D. A multianalyte electrochemical immunosensor based on patterned carbon nanotubes modified substrates for detection of pesticides // *Biosens. Bioelectron.* 2014. V. 52. P. 360–366.
34. Loganathan C., John A. Naked eye and spectrophotometric detection of chromogenic insecticide in aquaculture using amine functionalized gold nanoparticles in the presence of major interferents // *Spectrochim. Acta. A.* 2017. V. 173. P. 837–842.
35. Lang Q., Han L., Hou Ch., Wang F. A sensitive acetylcholinesterase biosensor based on gold nanorods modified electrode for detection of organic phosphate pesticide // *Talanta.* 2016. V. 156–157. P. 34–41.
36. Dwivedi C., Gupta A., Chaudhary A., Nandi C. Gold nanoparticle chitosan composite hydrogel beads show efficient removal of methyl parathion from waste water // *RSC Adv.* 2014. V. 4. № 75. P. 39830–39838.
37. Deng X., Huang X., Wu D. Electrochemical sensor for organic phosphate pesticides based on carbon nanotubes covered with Prussian blue // *J. Sichuan Norm. Univ. Natur. Sci.* 2014. V. 37. № 2. P. 243–247.
38. Xue R., Kang T., Cheng S. Electrochemical sensor based on the graphene-nafion matrix for sensitive determination of organic phosphorus pesticides // *Anal. Lett.* 2013. V. 46. № 1. P. 131–141.
39. Ivanov A., Yuorurov R., Ertugin G., Arduini F., Moscone D., Pulleschi G. Acetylcholinesterase biosensor based on single-walled carbon nanotubes – Co phthalocyanine for organic phosphorus pesticides detection // *Talanta.* 2011. V. 85. № 1. P. 216–221.
40. Li H., Guo J., Ping H., Liu R., Zhang M. Visual detection of organic phosphorus pesticides represented by methamidophos using Au nanoparticles as colorimetric probe // *Talanta.* 2011. V. 87. P. 93–99.
41. Zhao Y., Ma Y., Li H., Wang L. Composite nanospheres for specific recognition and direct fluorescent quantification of pesticides in aqueous media // *Anal. Chem.* 2012. V. 84. № 1. P. 386–395.
42. Rubiza R., Camacho S., Aoki P., Maximino D. Detection of trace levels of atrazine using sunfall-enhanced Raman scattering and information visualization // *Colloid. Polymer. Sci.* 2014. V. 292. № 11. P. 2811–2820.
43. Xianzhou L., Su Zh., Zhuang Y., Tianyue Y. Surface-enhanced Raman spectroscopic analysis of phorate and phenthiene pesticide in apple skin using nanoparticles // *Appl. Spectroscop.* 2014. V. 68. № 4. P. 483–487.
44. Furini L., Constantino C., Sanchez-Cortes S., Otero J. Adsorption of carbendazim pesticides on plasmonic nanoparticles studied by surface-enhanced Raman scattering // *J. Colloid. Interface Sci.* 2016. V. 465. P. 183–189.
45. Pyrzynska K. Carbon nanotubes as sorbents in the analysis of pesticides // *Chemosphere.* 2011. V. 83. № 11. P. 1407–1413.
46. Макеев Ф.З., Стынган Е.П., Погребной С.И., Иванчик А.В. Наноразмерные, стерео- и энантиомерные пестициды: успехи, перспективы и риски // *Мат-лы 2-й Всерос. молод. конф.-школы с международ. участием, Уфа, 2016. С. 5–9.*
47. Bala R., Dhingra S., Kumar M., Bansal K. Detection of organic phosphorus pesticide malathion in environmental samples using peptide and aptamer based nanoprobe // *Chem. Eng. J.* 2017. V. 311. P. 111–116.
48. Sun N., Yang J., Wang X., Li L. Preparation of graphene sheets with covalently bonded Fe₃O₄ for magnetic solid-phase extraction applied to organic chlorine pesticides in orange juice // *Chromatographia.* 2016. V. 79. № 5–6. P. 345–353.
49. Hua K., Wang H., Chung R., Hsu J. Calcium carbonate nanoparticles can enhance plant nutrition and insect pest tolerance // *J. Pest. Sci.* 2015. V. 40. № 4. P. 208–213.
50. Makkliang F., Kanatharuna P., Thavarungkul P., Tham-makhet Ch. A novel miniaturized zinc oxide/hydroxylated multiwalled carbon nanotubes as stir-brush micro-extractor device for carbamate pesticides analysis // *Anal. Chim. Acta.* 2016. V. 917. P. 27–36.
51. Wang F., Liao Ch., Luo L., Yi J. Preparation of TiO₂/MWCNT_s and evaluation of its influence on the photocatalytic degradation of dimethoate // *Chin. J. Pest. Sci.* 2015. V. 17. № 3. P. 327–333.
52. Zhong G., Zang X., Zhou X., Wang L. Extraction of triazine herbicides from natural waters with magnetic graphene nanoparticles and its determination by GC/MS // *Chin. J. Chromatogr.* 2013. V. 31. № 11. P. 1071–1076.
53. Shi H., Wang R., Yang J., Ren H. Novel imprinted nanocapsule with highly enhanced hydrolytic activity for organic phosphorus pesticide degradation and elimination // *Eur. Polymer. J.* 2015. V. 72. P. 190–201.
54. Wei Y., Xu Ren-Xia-Gao Ch., Liu J., Huang X. Polishing-activated nano-α-Al₂O₃. Adsorption and electrochemical behavior towards organic phosphate pesticides // *Electrochem. Commun.* 2012. V. 18. P. 78–80.
55. Narayanan K., Park H. Antifungal activity of silver nanoparticles synthesized using turnip leaf extract (*Brassica zapa*) against wood rotting pathogens // *Eur. J. Plant Pathol.* 2014. V. 140. № 2. P. 185–192.
56. Abd-El salam K., Khoklov A. Eugenol oil nanoemulsion: antifungal activity against *Fusarium oxysporum* and phytotoxicity on cottonseeds // *Appl. Nanosci.* 2015. V. 5. № 2. P. 255–265.
57. Suniyaprabha R., Karanakaran G., Kavitha K., Yuvakumar R. Application of silica nanoparticles in maize to enhance fungal resistance // *IET Nanobiotechnol.* 2014. V. 8. № 3. P. 133–137.
58. Veras F., Roggia I., Pranke P., Pereira C. Inhibition of filamentous fungi by ketoconazole-functionalized electrospun nanofibers // *Eur. J. Pharm. Sci.* 2016. V. 84. P. 70–76.
59. Hou R., Zhang Zh., Pang Sh., Yang T. Behavior of the pesticide Ferbam on tea leaves by engineered gold nanoparticles // *Environ. Sci. Technol.* 2016. V. 50. № 12. P. 6216–6223.

60. Xing K., Liu Yu., Shen X., Zhu X. Effect of O-chitosan nanoparticles on the development and membrane permeability of *Verticillium dahlia* // Carbohydr. Polymer. 2017. V. 165. P. 334–343.
61. Sahayaraj K., Roobadevi M., Radjesh S., Azizi S. *Vernonia cinerea* silver nanocomposite and its antibacterial activity against a cotton pathogen // Res. Chem. Intermed. 2015. V. 41. № 8. P. 5495–5507.
62. Meyer W., Gurman P., Stelinski L., Elzman N. Functional nano-dispensers (FNDs) for delivery of insecticides against phytopathogen Vectors // Green Chem. 2015. V. 17. № 8. P. 4173–4177.
63. Bagheri H., Ayazi Z., Eshaghi A., Aghakhani A. Reinforced polydiphenylamine nanocomposite for microextraction in packed syringe of various pesticides // J. Chromatogr. A. 2012. V. 1223. P. 13–21.
64. Cesarino I., Moraes F., Machado S. A biosensor based on polyaniline-carbon nanotube core-shell for electrochemical detection of pesticides // Electroanalysis. 2011. V. 23. № 11. P. 2586–2593.
65. Cesarino I., Moraes F., Lanza M., Machado S. Electrochemical detection of carbamate pesticides in fruit and vegetables with a biosensor based on acetylcholinesterase immobilized of composite of polyaniline-carbon nanotubes // Food Chem. 2012. V. 135. № 3. P. 873–879.
66. Luo Q., Li Y., Zhang M., Qui P. A highly sensitive dual-signal assay based on Rhoda-mine B covered silver nanoparticles for carbamate pesticides // Chin. Chem. Lett. 2017. V. 28. № 2. P. 345–349.
67. Sharma S., Singh S., Ganguli A., Shanmugam V. Anti-drift nano-stickers made of graphen-oxide for target pesticide delivery and crop pest control // Carbon. 2017. V. 115. P. 781–790.
68. Gao Zh., Li W., Liu B., Lian F., He H., Yang Sh., Sun Ch. Nanostructured polyaniline-ionic liquid composite film coated steel wire for headspace solid-phase microextraction of organochlorine pesticides in water // J. Chromatogr. A. 2011. V. 1218. № 37. P. 6286–6291.
69. Adeyemi D., Mokgadi J., Darkwa J., Anyakoza Ch., Ukpo G., Torner Ch., Tozto N. Electrospun nano-fibres sorbents for pre-concentration of chloro-organic pesticides with subsequent desorption by pressurized hot water extraction // Chromatographia. 2011. V. 73. № 9–10. P. 1015–1020.
70. Wu Q., Zhao G., Feng Ch., Wang Ch. Preparation of graphene-based magnetic nano-composite for the extraction of carbamate pesticides from environmental water samples // J. Chromatogr. A. 2011. V. 1218. № 44. P. 7936–7942.
71. Ju K., Feng Jin-Xia, Feng Jiu-Ju, Zhang Q. Biosensor for pesticide triazophos based on its inhibition of acetylcholinesterase and using of glassy carbon electrode modified with coral-like gold nanostructures supported on reduced graphene oxide // Microchim. Acta. 2015. V. 182. № 15–16. P. 2427–2434.
72. Huang Y., Zhou Q., Xiao J. Establishment of trace determination method of pure throid pesticides with TiO₂ nanotube array micro-solidphase equilibrium extraction combined with GC-ECD // Analyst. 2011. V. 136. № 13. P. 2741–2746.
73. Yao W., Ying J., Zhang S., Zhang Ch. Preparation of multi-walled carbon nanotubes decorated with Fe₃O₄ nanoparticles for determination of trace pyrethroid pesticides in water and honey samples // Chin. J. Chromatogr. 2015. V. 33. № 4. P. 342–347.
74. Loha K., Shakil N., Kumar J., Singh M., Srivastava C. Bioefficacy evaluation of nanoformulations of β -cyfluthrin against *Callosobruchus maculatus* // J. Environ. Sci. Health. B. 2012. V. 47. № 7. P. 687–961.
75. Yu Zh., Wang H., Yang Zh., Ding W., Chen Y., Liu Yu. Oxidized multi-walled carbon nanotubes as SPE sorbent for determination of Mefenacet and its degradation products in water samples // Chromatographia. 2010. V. 72. № 1–2. P. 33–38.
76. Bagheri H., Ayazi Z., Eshaghi A., Aghakhani A. Reinforced polydiphenylamine nanocomposite for microextraction in packed syringe of various pesticides // J. Chromatogr. A. 2012. V. 1222. P. 13–21.
77. Pinto I., Cerqueira-Continho C., Santos E., Carma F. Development and characterization of repellent formulations based on nanostructured hydrogels // Drug Dev. Ind. Pharm. 2017. V. 43. № 1. P. 67–73.
78. Li Z., Bai S., Hou M., Wang C., Wang Z. Magnetic graphene nanoparticles for the preconcentration of chloroacetanilide herbicides from water samples prior to determination by GC-ECD // Anal. Lett. 2013. V. 46. № 6. P. 1012–1024.
79. Prado A., Moura A., Nunes A. Nanosized silica modified with carboxylic acid as support for controlled release of herbicides // J. Agr. Food Chem. 2011. V. 59. № 16. P. 8847–8952.
80. Dubas S., Pimpan Y. Humic acid assisted synthesis of silver nanoparticles and its application to herbicide detection // Mater. Lett. 2008. V. 62. № 17–18. P. 2661–2663.
81. Hussein M.Z., Rahman N.Sh., Sarijo S.H., Zainal Z. Synthesis of a monophasic nanohybrid for a controlled release formulation of two active agents simultaneously // Appl. Clay Sci. 2012. V. 58. P. 60–66.
82. Marrakchi M., Helali S., Camino J., Gonzales-Martinez M., Abdelghani A., Hamdi M. Improvement of a pesticide immunosensor performance using site-directed antibody immobilization and carbon nanotubes // Int. J. Nanotechnol. 2012. V. 10. № 5–7. P. 496–507.
83. Chin Ch.-P., Wa Ho.-Sh., Wang Sh. New approach to pesticide delivery using nanosuspensions: research and applications // Ind. Eng. Chem. Res. 2011. V. 50. № 12. P. 7637–7643.
84. Кролевец А.А., Навальнова И.А. Способ получения нанокапсул цитокининов // Пат. 2578403. Россия. Дата регистрации: 12.05.2014. № заявки: 2014119008/15.
85. Elo-Sheikh A., Sweileh J., Al-Degs Y., Insisi A., Al-Rabady N. Critical evaluation and comparison of enrichment efficiency of and activated carbon towards some pesticides from environmental waters // Talanta. 2008. V. 74. № 5. P. 1675–1680.
86. Lopez-Feria S., Cardenas S., Valearcel M. One step carbon nanotubes based solid-phase extraction for the gas chromatographic-mass spectrometric multiclass pesticide control in virgin olive oils // J. Chromatogr. A. 2009. V. 1216. № 43. P. 7346–7350.
87. Mushra P., Balaji A., Swathy J., Paari A. Stability assessment of hydrodispersed nanometric permethrin and its biosafety study towards beneficial isolate from

- paddy rhizome // Environ. Sci. Pollut. Res. 2016. V. 23. № 24. P. 24970–24982.
88. Денисюк И.Ю., Васильева Н.В., Фокина М.И., Бурункова Ю.Э. Антифунгильная активность ZnO, SiO₂, Au и Ag акриловых нанокомпозитов // Научн.-техн. вестн. информ. технол., механ. и оптики. 2016. Т. 16. № 6. P. 1133–1136.
89. Springer V., Lista A. A simple and fast method for chlor-sulfuron and metsulfuron methyl determination in water samples using, multiwalled carbon nanotubes // Talanta. 2010. V. 83. № 1. P. 126–129.

Nanotechnology and Pesticides (Digest Publications for 2011–2017)

S. G. Zhemchuzhin^a, Yu. Ya. Spiridonov^{a, #}, Ir. Yu. Kleimenova^b, and G. S. Bosak^b

^a All-Russian Research Institute of Phytopathology
ul. Institut 5, Moscow region, p/o Bolshye Vyazemy 143050, Russia

^b FII-Russian Institute of Scientific and Technical Information
ul. Usievicha 20, Moscow 125315, Russia

[#]E-mail: spiridonov@vniif.ru

The digest presents current domestic and foreign information on various areas of application of nanotechnologies in agriculture (publications for 2011–2017). In connection with the annual permanent increase in the number of publications, there is a need for continuous and rapid monitoring of published messages in the world in order to ensure their availability to a wide range of researchers and practitioners.

Key words: nanotechnology, pesticides, publications for 2011–2017.