

Получение и исследование *in situ* композиционного материала “хитозан – диоксид титана” для сельского хозяйства

А. С. Баикин, А. А. Мельникова, К. С. Сергеева, А. С. Барышев,
Р. В. Победоносцев, М. А. Каплан, Д. Д. Баранова, В. М. Андреевская,
С. В. Железова, А. Г. Колмаков, М. А. Севостьянов

Получены гранулы композиционного материала “хитозан – диоксид титана” с различным содержанием наночастиц диоксида титана для сельскохозяйственного применения. Средний диаметр гранул составил 35 мкм. Показано, что изменение концентрации наночастиц диоксида титана в композиционном материале в изученных рамках не влияет на структуру его поверхности. Проведены эксперименты *in situ* на семенах огурца посевного (*Cucumis sativus*). Отмечено, что в течение первых трех недель композиционный материал оказывает ингибирующее влияние на рост растения, а далее, после начала растворения гранул, — ростостимулирующее. Наилучшие показатели роста наблюдали при добавлении в почву двух гранул композиционного материала с отношением хитозана к диоксиду титана 3 к 1. Сделан вывод, что полученные гранулы композиционного материала “хитозан – диоксид титана” могут оказывать положительное влияние на процессы роста и формирования растения.

Ключевые слова: хитозан, диоксид титана, композиционный материал, сельское хозяйство, биопротектор, *in situ*, *Cucumis sativus*.

DOI: 10.30791/1028-978X-2023-11-49-56

Введение

Новые исследования в области повышения эффективности удобрений с помощью нанотехнологий показывают потенциал использования наночастиц для улучшения роста растений и повышения усвояемости питательных веществ [1 – 4]. Наночастицы, такие как диоксид титана (TiO_2), обладают уникальными свойствами, позволяющими удобрениям длительно высвобождать активные вещества, а также улучшать усвояемость фосфора и других микроэлементов растениями [5 – 8].

Использование нанотехнологий в разработке инновационных удобрений открывает новые возможности для повышения эффективности использования питательных веществ и сокращения негативного воздействия удобрений на окружа-

ющую среду [9, 10]. Наночастицы могут быть инкапсулированы в матрицы, обладающие специальными свойствами, такими как разрушаемость, безопасность для живой и неживой природы, а также возможность контролируемой деструкции [11, 12]. Это способствует увеличению продолжительности высвобождения активных веществ, что обеспечивает постепенное и устойчивое питание растениям на протяжении длительного времени [13 – 15].

Хитозан, биоразлагаемый полимер, являющийся перспективным материалом для создания инновационных удобрений. Он обладает инсектицидными, фунгицидными свойствами, способствует увеличению всхожести. Благодаря образованию при разложении легкоусвояемого азота, формируется мощная корневая система, способствующая

устойчивости растения в стрессовых условиях [16, 17].

Разработка композиционного удобрения на базе наночастиц диоксида титана и хитозана может улучшить всхожесть семян путем улучшения поглощения влаги, защиты от болезнетворных организмов, стимуляции иммунной системы растений, улучшения усвояемости питательных веществ и защиты от ультрафиолетового излучения.

Таким образом, использование нанотехнологий и инкапсулированных удобрений на основе хитозана и диоксида титана представляет собой перспективный подход к повышению эффективности удобрений, снижению потерь питательных веществ и улучшению качества растениеводства. Дальнейшие исследования и опытное внедрение этих инновационных материалов позволят оптимизировать применение удобрений и улучшить устойчивость сельскохозяйственных систем.

Цель данной работы — разработка метода получения композиционного материала “хитозан – диоксид титана” и изучение его воздействия *in situ* на растения, на примере огурца посевного (*Cucumis sativus*).

Материалы и методы

Для получения композиционного материала “хитозан – диоксид титана” вначале готовили раствор, состоящий из 0,9 мл ортофосфорной кислоты (компании Компонент-реактив, Россия, 87 масс. %) и 18 мл дистиллированной воды. Далее, при комнатной температуре в нём растворяли навеску высокомолекулярного хитозана (Sigma-Aldrich, США) массой 0,375 г при постоянном помешивании до гомогенного состояния (среднее время растворения составляло 1 ч). В полученный раствор добавляли порошок диоксида титана массой 0,25; 0,5 или 0,75 г и перемешивали для равномерного распределения по объему. Диоксид титана был представлен сферическими наночастицами со средним диаметром 175 нм. Гранулы композиционного материала “хитозан – диоксид титана” получали капельным методом. Для этого приготовленный раствор капали в избыток аммиака водного (Компонент-реактив, Россия, 87 масс. %) и оставляли минимум на 6 ч. После чего гранулы промывали дистиллированной водой. Для высушивания полученных гранул композиционного материала их вначале замораживали в течение 5 ч при температуре $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$, а далее помешали в лиофильную сушку.

Электронномикроскопические исследования образцов проводили методом сканирующей электронной микроскопии на электронном микроскопе Hitachi TM4000. Для исследования морфологии частиц в растровом режиме образцы наклеивали на медную подложку при помощи проводящего углеродного клея. Съемку вели при напряжении 15 кВ, в режиме обратно рассеянных электронов.

Закладку эксперимента проводили в камере искусственного климата. Семена огурца посевного (*Cucumis sativus*) сеяли в прямоугольные поддоны, количество в варианте составляло 28 растений. В субстрат вместе с семенем добавляли одну-две гранулы хитозана в зависимости от варианта. Субстрат под огурец смешивался из песка, гумуса и земли садовой в соотношении 1:1:3.

Проводили изменения высоты растений и количество листьев.

Температура воздуха в климатической камере днем составляла $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ночью $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Влажность воздуха — 60 – 70 %. Полив почвы обильный, по 70 мл на растение раз в день.

Были изучены следующие варианты эксперимента:

К — контроль — семена огурца, посаженные без гранул хитозана;

A1 — композиционный материал “хитозан – диоксида титана”, с массовым отношением хитозана к TiO_2 — 3 к 1, 1 гранула;

A2 — композиционный материал “хитозан – диоксида титана”, с массовым отношением хитозана к TiO_2 — 3 к 1, 2 гранулы;

B1 — композиционный материал “хитозан – диоксида титана”, с массовым отношением хитозана к TiO_2 — 3 к 2, 1 гранула;

B2 — композиционный материал “хитозан – диоксида титана”, с массовым отношением хитозана к TiO_2 — 3 к 2, 2 гранулы;

C1 — композиционный материал “хитозан – диоксида титана”, с массовым отношением хитозана к TiO_2 — 1 к 1, 1 гранула;

C2 — композиционный материал “хитозан – диоксида титана”, с массовым отношением хитозана к TiO_2 — 1 к 1, 2 гранулы.

В каждом варианте 4 повторности.

Результаты и обсуждения

Структура полученных гранул композиционного материала “хитозан – диоксид титана” представлена на рис. 1. Средний диаметр гранул составил примерно 3,5 мкм. Гранулы имеют пористую структуру, на поверхности видны многочисленные вклю-

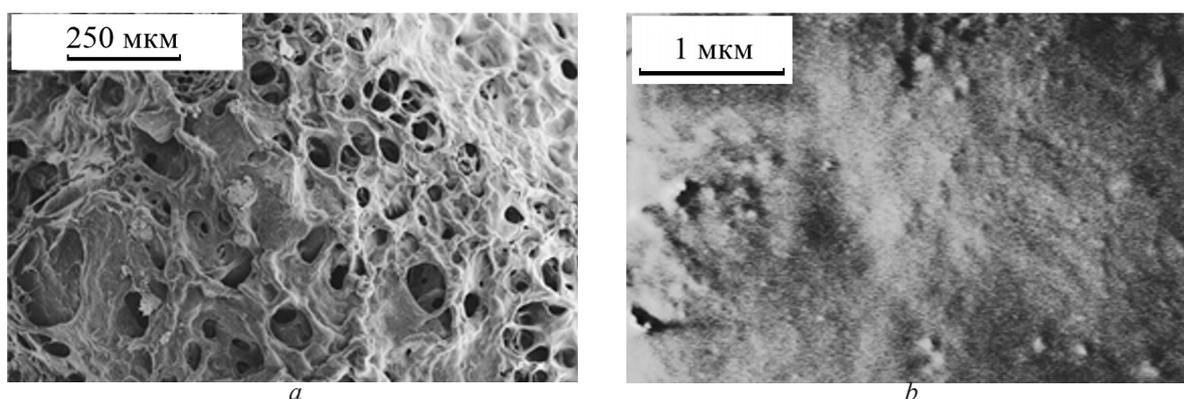


Рис. 1. СЭМ изображения поверхности полученного композиционного материала “хитозан – диоксид титана”.

Fig. 1. SEM image of the surface of the obtained composite material “chitosan – titanium dioxide”.

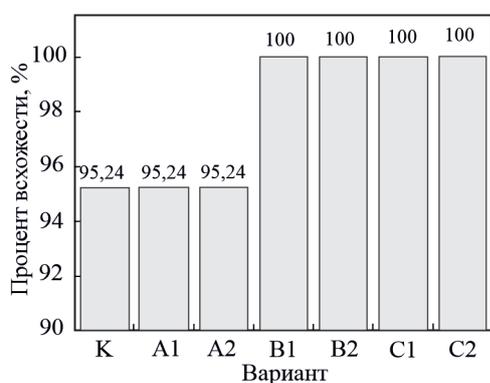


Рис. 2. Всхожесть семян огурца посевного (*Cucumis sativus*).

Fig. 2. Seed germination of cucumber (*Cucumis sativus*).

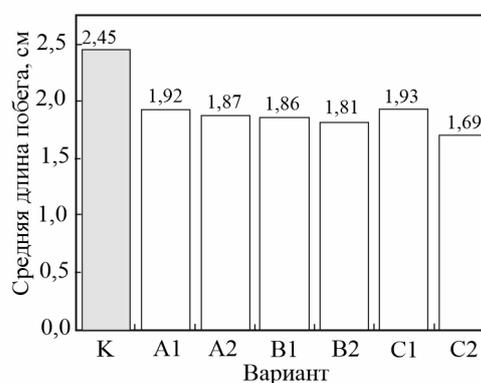


Рис. 3. Данные о средней длине побега огурца на 2-й неделе в зависимости от используемого варианта композиционного материала.

Fig. 3. Data on the average length of a cucumber shoot at week 2, depending on the variant of the composite material used.

чения агрегатов наночастиц, полностью покрытых хитозаном. При этом изменение концентрации наночастиц диоксида титана в композиционном материале не влияет на структуру поверхности.

Данные по всхожести семян огурца посевного (*Cucumis sativus*) представлены на рис. 2. Контрольный образец показал аналогичную всхожесть, порядка 95 %, что и семена, к которым были заложены гранулы композиционного материала “хитозан – диоксид титана” с отношением 3 к 1. При увеличении массового отношения диоксида титана к хитозану до 2 к 3 и 1 к 1 наблюдалось улучшение всхожести семян до 100 %.

Через 2 недели после прорастания семян проводили измерение длины побега. Начиная с третьей

недели дополнительно измеряли длину и ширину листов, а также длину черешка. Данные о средних показателях огурца на второй, третьей и четвертой неделях представлены на рис. 3, 4. На первых этапах роста (в течение первых двух недель) контрольный образец демонстрировал лучшие показатели роста. Таким образом, наблюдалось ингибирующее действие полученных гранул композиционного материала. Затем, по мере разложения хитозана в почве, гранулы стали проявлять ростостимулирующее действие, что отражают показатели размера листа на четвертой неделе. Наилучшие характеристики показали огурцы с добавлением 2 гранул композиционного материала с отношением хитозана к диоксиду титана 3 к 1. Схожие пока-

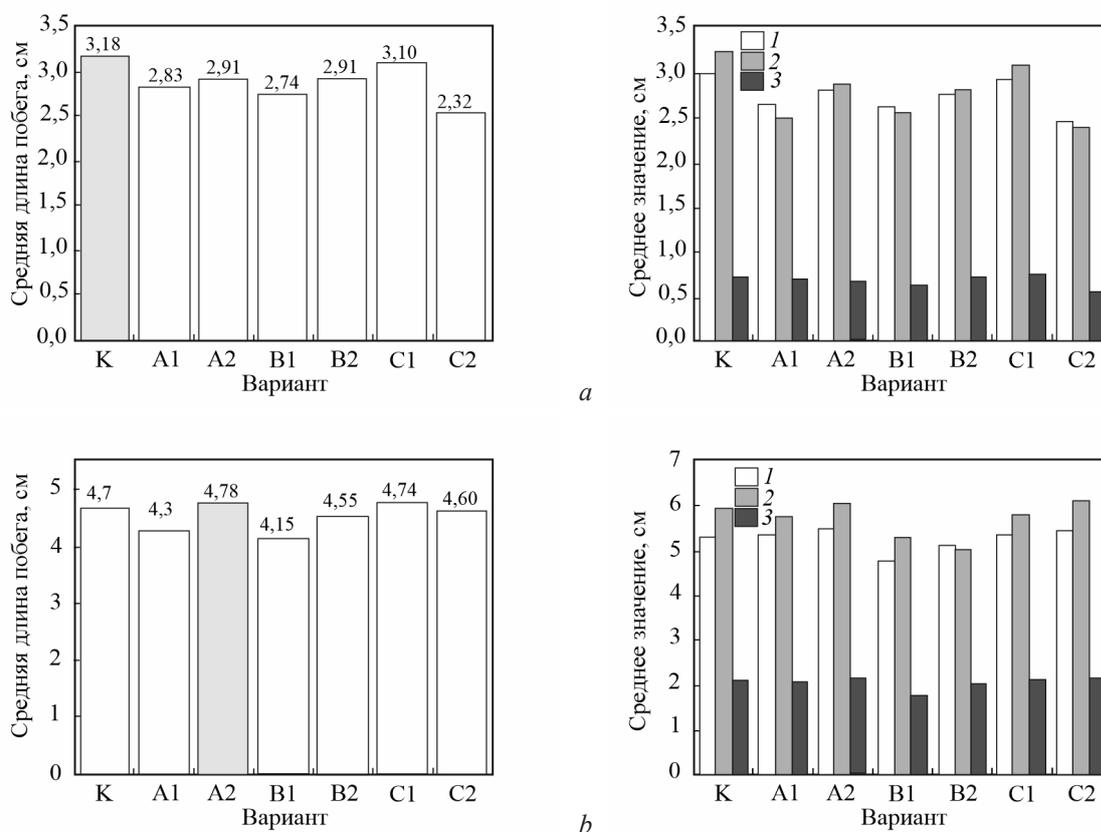


Рис. 4. Данные о средних показателях огурца на 3-й (а) и 4-й (б) неделе в зависимости от используемого варианта композиционного материала. Параметры листа: 1 — длина листа, 2 — ширина листа, 3 — длина черешка

Fig. 4. Data on average indicators of cucumber at week 3 (a) and 4 (b), depending on the composite material used. Data on average indicators of cucumber at week 4, depending on the composite material used. Leaf parameters: 1 — leaf length, 2 — leaf width, 3 — petiole length.

затели у растений с добавлением одной или двух гранул композиционного материала с отношением хитозана к диоксиду титана 1 к 1.

Выводы

1. Предложен метод создания композиционного материала “хитозана – диоксид титана” с различным содержанием наночастиц диоксида титана.

2. Показано, что гранулы полученного композиционного материала имеют сферическую форму со средним диаметром 3,5 мкм.

3. Изменение концентрации наночастиц диоксида титана в композиционном материале в изученных рамках не влияет на структуру его поверхности.

4. Отмечено, что в течение первых трех недель композиционный материал оказывает ингибирую-

щее влияние на рост растения, а далее, после начала растворения гранул, — ростостимулирующее.

5. Наилучшие показатели роста наблюдались при добавлении в почву двух гранул композиционного материала с отношением хитозана к диоксиду титана 3 к 1.

Научный труд опубликован в рамках Шестого международного молодежного научно-практического форума “Нефтяная столица” (22 – 23 марта 2023 г).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-23-00968, <https://rscf.ru/project/22-23-00968>.

Литература/References

- Babadi F.E., Yunus R., Rashid S.A., Salleh M.M., Ali S. New coating formulation for the slow release of urea

- using a mixture of gypsum and dolomitic limestone. *Particuology*, 2015, v. 23, pp. 62 – 67.
2. Sangeeta Chavan, Vishwas Sarangdhar, Vigneshwaran Nadanathangam. Toxicological effects of TiO₂ nanoparticles on plant growth promoting soil bacteria. *Emerging Contaminants*, 2020, v. 6, pp. 87 – 92. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2020.01.003>.
 3. Selma M.H., AL-Jawad, Ali A. Taha, Mohammed M. Salim. Synthesis and characterization of pure and Fe doped TiO₂ thin films for antimicrobial activity. *Optik*, 2017, v. 142, pp. 42 – 53. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.05.048>.
 4. Sreeja S., Vidya Shetty K. Photocatalytic water disinfection under solar irradiation by Ag@TiO₂ core-shell structured nanoparticles. *Solar Energy*, 2017, v. 157, pp. 236 – 243. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.07.057>.
 5. Sim D.H.H., Tan I.A.W., Lim L.L.P., Hameed B.H. Encapsulated biochar-based sustained release fertilizer for precision agriculture: A review. *Journal of Cleaner Production*, 2021, v. 303, art. 127018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127018>
 6. Liu R., Lal R. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Sci. Total Environ*, 2015, v. 514, pp. 131-139.
 7. Phziya Tariq Waani S., Irum S., Gul I., Yaqoob K., Khalid M.U., Ali M.A., Manzoor U., Noor T., Ali S., Rizwan M., Arshad M. TiO₂ nanoparticles dose, application method and phosphorous levels influence genotoxicity in rice (*Oryza sativa* L.), soil enzymatic activities and plant growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, v. 213, art. 111977. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111977>.
 8. Bakshi M., Liné C., Bedolla D. E., Stein R. J., Kaegi R., Sarret G., Pradas del Real A.E., Castillo-Michel H., Abhilash P.C., Larue C. Assessing the impacts of sewage sludge amendment containing nano-TiO₂ on tomato plants: A life cycle study. *Journal of Hazardous Materials*, 2019, v. 369, pp. 191 – 198, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.036>.
 9. Stanley N., Mahanty B. Preparation and characterization of biogenic CaCO₃-reinforced polyvinyl alcohol–alginate hydrogel as controlled-release urea formulation. *Polymer Bull.*, 2019, v. 77, pp. 529 – 540.
 10. Sreeja S., Vidya Shetty K. Photocatalytic water disinfection under solar irradiation by Ag@TiO₂ core-shell structured nanoparticles. *Solar Energy*, 2017, v. 157, pp. 236 – 243. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.07.057>.
 11. Grégori D., Benchena I., Chaput F., Thérias S., Gardette J.-L., Léonard D., Guillard C., Parola S. Mechanically stable and photocatalytically active TiO₂/SiO₂ hybrid films on flexible organic substrates. *J. Mater. Chem. A*, 2014, v. 2, pp. 20096 – 20104. <https://doi.org/10.1039/C4TA03826F>
 12. Vladkova T., Angelov O., Stoyanova D., Gospodinova D., Gomes L., Soares A., Mergulhao F., Ivanova I. Magnetron co-sputtered TiO₂/SiO₂/Ag nanocomposite thin coatings inhibiting bacterial adhesion and biofilm formation. *Surface and Coatings Technology*, 2020, v. 384, art. 125322, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125322>.
 13. Kah M., Kookana R.S., Gogos A., Bucheli T.D. A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nature Nanotechnology*, 2018, v. 13, pp. 677 – 684. DOI: 10.1038/s41565-018-0131-1.
 14. Raliya R., Saharan V., Dimkpa C., Biswas P. Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: current state and future perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, v. 66(26), pp. 6487 – 6503. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b02178.
 15. Sana Ullah, Muhammad Adeel, Muhammad Zain, Muhammad Rizwan, Muhammad Kashif Irshad, Ghulam Jilani, Abdul Hameed, Abid Khan, Muhammad Arshad, Ali Raza, Mansoor A. Baluch, Yukui Rui. Physiological and biochemical response of wheat (*Triticum aestivum*) to TiO₂ nanoparticles in phosphorous amended soil: A full life cycle study. *Journal of Environmental Management*, 2020, v. 263, art. 110365, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110365>
 16. Yage Xing, Hua Yang, Xunlian Guo, Xiufang Bi, Xiaocui Liu, Qinglian Xu, Qin Wang, Wenxiu Li, Xuanlin Li, Yuru Shui, Cunkun Chen, Yi Zheng. Effect of chitosan/Nano-TiO₂ composite coatings on the postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruits. *Scientia Horticulturae*, 2020, v. 263, 109135, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109135>.
 17. Adrián González-Saucedo, Laura Leticia Barrera-Necha, Rosa Isela Ventura-Aguilar, Zormy Nacary Correa-Pacheco, Silvia Bautista-Baños, Mónica Hernández-López. Extension of the postharvest quality of bell pepper by applying nanostructured coatings of chitosan with *Byrsonima crassifolia* extract (L.) Kunth. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, v. 149, pp. 74 – 82. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.11.019>.

*Статья поступила в редакцию — 18.07.2023 г.
после доработки — 28.08.2023 г.
принята к публикации — 29.08.2023 г.*

Баикин Александр Сергеевич — Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (Москва, 119334, Ленинский проспект, 49), кандидат технических наук, научный сотрудник, специалист в области титановых сплавов, полимерных композиционных материалов. E-mail: baikinas@mail.ru.

Мельникова Александра Андреевна — Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (Москва, 119334, Ленинский проспект, 49); Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (143050, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5), старший лаборант, специалист в области полимерных композиционных материалов. E-mail: alsomiller@gmail.com.

Сергеева Ксения Сергеевна — Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (143050, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5), технолог, специалист в области физиологии и биотехнологии растений. E-mail: ponydero@mail.ru.

Барышев Алексей Сергеевич — Федеральный исследовательский центр “Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук” (ИОФ РАН), Россия, Москва, ул. Вавилова, д. 38), кандидат технических наук, и.о. младшего научного сотрудника, специалист в области лазерной физики, исследований физических и химических свойств наночастиц, нанотехнологий. E-mail: aleksej.baryshev@gmail.com.

Победоносцев Роман Вадимович — Федеральный исследовательский центр “Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук” (ИОФ РАН, Россия, Москва, ул. Вавилова, 38), младший научный сотрудник, специалист в области наночастиц, плазмо-активированной воды (PAW), физиологии и биотехнологии растений. E-mail: pobedonoscevroman@rambler.ru.

Каплан Михаил Александрович — Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (Москва, 119334, Ленинский проспект, 49), кандидат технических наук, младший научный сотрудник, специалист в области титановых сплавов медицинского назначения, порошковой металлургии. E-mail: misha279@yandex.ru.

Баранова Диана Дмитриевна — Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (143050, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5), старший лаборант-исследователь, специалист в области физиологии и биотехнологии растений. E-mail: nikaandreevskai@yandex.ru.

Андреевская Вероника Максимовна — Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (143050, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5), младший научный сотрудник, специалист в области физиологии и биотехнологии растений. E-mail: nikaandreevskai@yandex.ru.

Железова Софья Владиславовна — Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (143050, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5), доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, специалист в области физиологии и биотехнологии растений. E-mail: soferrum@mail.ru.

Колмаков Алексей Георгиевич — Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (Москва, 119334, Ленинский проспект, 49), член-корреспондент РАН, доктор технических наук, заведующий лабораторией, специалист в области композиционных материалов и наноматериалов. E-mail: imetranlab10@mail.ru.

Севостьянов Михаил Анатольевич — Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (Москва, 119334, Ленинский проспект, 49); Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (143050, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5), кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, специалист в области композиционных материалов и наноматериалов. E-mail: stakp@mail.ru.

Obtaining and studying in situ composite material “chitosan-titanium dioxide” for agriculture

A. S. Baikin, A. A. Melnikova, K. S. Sergeeva, A. S. Baryshev, R.V. Pobedonostsev,
M. A. Kaplan, D. D. Baranova, V. M. Andreevskaya, S. V. Zhelezova,
A. G. Kolmakov, M. A. Sevostyanov

In the course of the study, granules of the composite material “chitosan - titanium dioxide” with different content of titanium dioxide nanoparticles for agricultural use were obtained. The average granule diameter was 35 mm. It is shown that a change in the concentration of titanium dioxide nanoparticles in a composite material within the studied limits does not affect the structure of its surface. Experiments were carried out in situ on the seeds of cucumber (*Cucumis sativus*). It was noted that during the first three weeks, the composite material has an inhibitory effect on plant growth, and then, after the beginning of the dissolution of the granules, it has a growth-stimulating effect. The best growth rates were observed when two granules of a composite material were added to the soil with a ratio of chitosan to titanium dioxide of 3 to 1. It was concluded that the obtained granules of a composite material can have a positive effect on the processes of plant growth and formation.

Keywords: Chitosan, titanium dioxide, composite material, agriculture, bioprotector, in situ, *Cucumis sativus*

Baikin Alexander — Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences (Moscow, 119334, Leninsky Prospekt, 49), PhD, researcher, specialist in the field of titanium alloys, polymer composite materials. E-mail: baikinas@mail.ru, author for correspondence

Melnikova Alexandra — Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences (Moscow, 119334, Leninsky Prospekt, 49); All-Russian Research Institute of Phytopathology (143050, Moscow region, Odintsovo district, Bolshie Vyazemy settlement, Institute str., possession 5), senior laboratory assistant, specialist in the field of polymer composite materials, E-mail: alsomiller@gmail.com.

Sergeeva Ksenia — All-Russian Research Institute of Phytopathology (143050, Moscow region, Odintsovo district, Bolshie Vyazemy, Institute St., possession 5), technologist, specialist in the field of plant physiology and biotechnology. E-mail: ponydero@mail.ru.

Baryshev Alexey — Federal Research Center “Institute of General Physics named after. A.M. Prokhorov Russian Academy of Sciences” (IOF RAS, Russia, Moscow, st. Vavilova, 38), PhD, acting junior researcher, specialist in the field of laser physics, research into the physical and chemical properties of nanoparticles, nanotechnology. E-mail: aleksej.baryshev@gmail.com.

Pobedonostsev Roman — Federal Research Center “Institute of General Physics named after A.M. Prokhorov Russian Academy of Sciences” (IOF RAS, Russia, Moscow, st. Vavilova, 38), junior researcher, specialist in the field of nanoparticles, plasma-activated water (PAW), plant physiology and biotechnology. E-mail: pobedonoscevroman@rambler.ru.

Kaplan Mikhail — Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences (Moscow, 119334, Leninsky Prospekt, 49), PhD, junior researcher, specialist in the field of titanium alloys for medical purposes, powder metallurgy. E-mail: misha279@yandex.ru.

Baranova Diana — All-Russian Research Institute of Phytopathology (143050, Moscow region, Odintsovo district, Bolshiye Vyazemy, Institut str., property 5), senior laboratory assistant-researcher, specialist in the field of plant physiology and biotechnology. E-mail: nikaandreevskai@yandex.ru.

Andreevskaya Veronika — All-Russian Research Institute of Phytopathology (143050, Moscow region, Odintsovo district, Bolshiye Vyazemy, Institut str., property 5), junior researcher, specialist in the field of plant physiology and biotechnology. E-mail: nikaandreevskai@yandex.ru.

Zhelezova Sofya — All-Russian Research Institute of Phytopathology (143050, Moscow region, Odintsovo district, Bolshie Vyazemy, Institute St., possession 5), Dr Sciences, Agricultural, leading researcher, specialist in the field of plant physiology and biotechnology. E-mail: soferrum@mail.ru.

Kolmakov Alexey — Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences (Moscow, 119334, Leninsky Prospekt, 49), corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Dr Sci (Eng), head of the laboratory, specialist in the field of composite materials and nanomaterials. E-mail: imetranlab10@mail.ru.

Sevostyanov Mikhail — Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences (Moscow, 119334, Leninsky Prospekt, 49); All-Russian Research Institute of Phytopathology (143050, Moscow region, Odintsovo district, Bolshie Vyazemy settlement, Institute str., possession 5), PhD, leading researcher, specialist in the field of composite materials and nanomaterials. E-mail: cmakp@mail.ru.