

## БИОТЕХНОЛОГИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

DOI: 10.15593/2224-9400/2018.4.01

УДК 631.4; 631.8

**Н.Л. Шаронова, Г.Ф. Рахманова, И.А. Яппаров,  
М.М. Ильясов, И.М. Суханова**

Татарский НИИАХП ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

### ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАНОМАТЕРИАЛА В МИНЕРАЛЬНОМ ПИТАНИИ

*В условиях вегетационных опытов проводилось изучение перспективности применения наноструктурной водно-фосфоритной суспензии, полученной путем ультразвукового диспергирования фосфоритной муки, в минеральном питании растений. Объектами исследования являлись фосфоритная мука Сюндюковского месторождения Республики Татарстан обычного помола и в виде наноструктурной водно-фосфоритной суспензии, растение – яровая пшеница сорта Эстер; почва – серая лесная среднесуглинистая.*

*Предпосевная обработка наноструктурной водно-фосфоритной суспензией в дозе 1,25 кг/т семян способствовала ускорению фенологического развития яровой пшеницы на 2–3 дня по сравнению с другими вариантами опыта до фазы колошения.*

*Применение наноструктурной водно-фосфоритной суспензии положительно влияло на структуру урожая яровой пшеницы: высота растений увеличивалась на 2,4–8,1 % в сравнении с другими опытными вариантами. При сочетании предпосевной и внекорневой обработок наноструктурной водно-фосфоритной суспензией отмечены наибольшие показатели продуктивной кустистости, длины колоса, количества зерен в колосе и массы 1000 семян.*

*Использование наноструктурной водно-фосфоритной суспензии способствовало повышению урожайности яровой пшеницы на 19,9–86,1 % по сравнению с другими вариантами опыта. При этом выявлено улучшение качества зерна по показателям натуре зерна, содержания сырой клейковины и белка.*

*Изученные способы применения наноструктурной водно-фосфоритной суспензии не оказывали влияния на агрохимические показатели почвы.*

*В результате исследований была установлена эффективность и перспективность использования наноструктурной водно-фосфоритной суспензии в качестве удобрения для сельскохозяйственного производства. Наилучшие результаты были выявлены при комплексном использовании наноструктурной водно-фосфоритной суспензии для предпосевной обработки семян и двукратной внекорневой обработки растений яровой пшеницы.*

**Ключевые слова:** наноструктурная водно-фосфоритная суспензия, предпосевная обработка семян, внекорневая обработка, урожайность, качество зерна, яровая пшеница.

**N.L. Sharonova, G.F. Rakhmanova, I.A. Yapparov,  
M.M. Il'yasov, I.M. Sukhanova**

TatarSRIAC SS – Subdivision of FIC KazanSC of RAS,  
Kazan, Russian Federation

## **GROWTH AND DEVELOPMENT INDICATORS OF PLANTS WHEN USING NANOMATERIAL IN MINERAL NUTRITION**

*Under the conditions of vegetation experiments, the perspectives of using nanostructured water-phosphorite suspension obtained by ultrasonic dispersion of phosphate rock in the mineral nutrition of plants were studied. The objects of research were phosphate rock from the Syundyukovsky deposit of the Republic of Tatarstan of ordinary grinding and in the form of a nanostructured water-phosphorite suspension, the plant – spring wheat of the variety Esther; soil – gray forest medium loamy.*

*The pre-sowing seed treatment of the nanostructured water-phosphorite suspension at a dose of 1.25 kg / ton of seeds contributed to the acceleration of the phenological development of spring wheat for 2-3 days compared with other variants of the experiment before the earing phase. The use of nanostructured water-phosphorite suspension had a positive effect on the structure of the harvest of spring wheat: the height of the plants increased by 2.4-8.1% in comparison with other experimental options. With a combination of pre-sowing and foliar treatments of the nanostructured water-phosphorite suspension, the highest values of indicators*

*of productive bushiness, the length of the ear, the number of grains in the ear and the weight of 1000 seeds were noted.*

*The use of a nanostructured water-phosphorite suspension promoted an increase in the yield of spring wheat by 19.9-86.1% compared with other variants of the experiment. At the same time, an improvement in the quality of grain was revealed in terms of the nature of the grain, the content of raw gluten and protein.*

*The studied methods of applying the nanostructured water-phosphorite suspension did not affect the agrochemical indicators of the soil.*

*As a result of the research, the efficiency and prospects of using the nanostructured water-phosphate suspension as a fertilizer for agricultural production was established. The best results were found with the complex use of nanostructured water-phosphate suspension for pre-sowing seed treatment and foliar double treatment of spring wheat plants.*

**Keywords:** *nanostructured water-phosphate suspension, pre-sowing seed treatment, foliar treatment, crop structure, yield, grain quality, spring wheat.*

В последние годы особую важность приобретает решение задачи обеспечения сельского хозяйства биологически активными, экологически безопасными и экономически рентабельными удобрениями. Использование инновационных методов в области переработки минерального сырья важно для повышения биологической активности и доступности содержащихся в его составе макро- и микроэлементов [1]. В этом отношении перспективно изучение агроминералов (фосфорит,

бентонит, сапропель, вермикулит и др.), запасы которых имеются на всей территории Российской Федерации (РФ), в том числе и Республики Татарстан (РТ) [1, 2]. Агроминералы обладают биоактивными свойствами, способны оказывать регулирующее влияние на интенсивность обменных процессов, усиливать функциональную активность микроорганизмов, растений и животных, повышать уровень их естественной резистентности к неблагоприятным факторам окружающей среды [3].

Актуальным направлением исследований является получение на основе этих минералов наноструктурных веществ, последующая оценка их влияния на рост, развитие растений, а также разработка технологий применения в сельскохозяйственном производстве [4–6].

Одной из наиболее значимых культур в севообороте РФ является яровая пшеница. В 2016 г. посевные площади яровых зерновых и зернобобовых культур составили 31048 тыс. га. Площади посевов яровой пшеницы – 13683 тыс. га (в 2015 г. – 13479 тыс. га). Валовой сбор зерна яровой пшеницы после доработки составил 21,0 млн т (в 2015 г. – 19,7 млн т) при урожайности 15,7 ц/га [7]. В связи с этим экспериментальные данные для разработки способов применения наноматериалов, обеспечивающих повышение урожайности и качества зерна яровой пшеницы имеют особую важность.

**Экспериментальная часть.** Научные исследования проводили в условиях вегетационных опытов с применением методики Б.А. Доспехова [8], а также компьютерных программ.

Объекты исследования – фосфоритная мука Сюдюковского месторождения Республики Татарстан (РТ) обычного помола (ФМ) и в виде наноструктурной водно-фосфоритной суспензии (НВФС). Химический состав фосфоритной муки Сюдюковского месторождения РТ, %: CaO – 32,8; SiO<sub>2</sub> – 18,0; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 10,0–12,0; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – до 8,0; CO<sub>2</sub> – 4,0; SO<sub>2</sub> – 3,8; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,4; F – 2,3; MgO – 1,4; K<sub>2</sub>O – 1,0; Na<sub>2</sub>O – 1,0. Минеральный состав, %: фосфат – 64,0; глауконит и гидрослюда – 22,0; кварц – 7,0; глинистые минералы (смешаннослойный монтмориллонит-гидрослюдистый) – 3,0–10,0 %; кальцит – 0,7; прочие – 0,1. Предварительно фосфоритная руда была отмыта, при этом содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> повышалось в 1,5–1,7 раза (до 20,0–24,0 %). Далее проводили ее механическую активацию, что способствовало увеличению содержания доступной для растений лимонно-растворимой формы P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в 2,5 раза. Из механоактивированной фосфоритной муки в научно-исследовательском инновационно-прикладном центре «Наноматериалы и нанотехно-

логии» КНИТУ методом ультразвукового диспергирования на приборе УЗУ-0,25 (РФ) была получена наноструктурная водно-фосфоритная суспензия (НВФС). Выходная мощность прибора – 80 Вт, частота – 18,5 кГц ( $\pm 10\%$ ), амплитуда колебаний ультразвукового волновода – 5 мкм, длительность воздействия – 20 мин. НВФС стабилизировали деионизированной водой в концентрации 1:4 [9].

Почва – серая лесная среднесуглинистая: содержание гумуса – 3,3 %,  $P_2O_5$  – 149 мг/кг,  $K_2O$  – 111 мг/кг, Нг – 3,1 мг-экв./100 г почвы,  $pH_{\text{сол}}$  – 5,4, сумма поглощенных оснований – 19,5 мг-экв./100 г почвы. Опытная культура – районированная в РТ яровая пшеница сорта Эстер первой репродукции. Повторность в опытах трехкратная.

Схема опыта включала в себя следующие варианты: 1) контроль без удобрений; 2)  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – фон; 3) фон + предпосевная обработка семян фосфоритной мукой обычного помола в дозе 1,25 кг/т; 4) фон + предпосевная обработка семян НВФС в дозе 1,25 кг/т; 5) фон + внекорневая обработка растений водно-фосфоритной суспензией из расчета 8 л/га; 6) фон + внекорневая обработка растений НВФС из расчета 8 л/га; 7) фон + предпосевная обработка семян фосфоритной мукой обычного помола в дозе 1,25 кг/т + внекорневая обработка растений водно-фосфоритной суспензией из расчета 8 л/га; 8) фон + предпосевная обработка семян НВФС в дозе 1,25 кг/т + внекорневая обработка растений НВФС из расчета 8 л/га.

В качестве минеральных удобрений (фон) использовали сложное удобрение – азофоску. Предпосевную обработку семян яровой пшеницы проводили ФМ обычного помола и наноструктурной фосфоритной мукой из расчета 1,25 кг на 1 т семян. Внекорневая обработка растений проводилась водно-фосфоритной суспензией и наноструктурной водно-фосфоритной суспензией из расчета 8 л/га [3, 11].

Фоновые минеральные удобрения вносили в почву в период набивки сосудов почвой с тщательным перемешиванием. Площадь сосуда Вагнера – 0,018 м<sup>2</sup>. В каждый сосуд высевалось по 20 шт. семян пшеницы с оставлением после появления всходов по 8 растений.

В период вегетации растений влажность почвы поддерживалась в пределах 70–75 % от полной полевой влагоемкости почвы путем регулярного взвешивания и полива сосудов.

В опытах проведены комплексные агрохимические анализы почвенных образцов, фенологические наблюдения за ростом и развитием растений, оценено влияние применения ФМ и НВФС на структуру, ка-

чественные и количественные показатели урожая яровой пшеницы (масса зерна, масса растений и пожнивных остатков – на сосуд; масса 1000 семян) и содержание элементов минерального питания [10].

Урожайные данные статистически обработаны, выявлена достоверность прибавок урожая от исследуемых факторов.

**Результаты исследований и обсуждение.** Предпосевная обработка семян и внекорневая обработка растений яровой пшеницы ФМ обычного помола и НВФС не оказывали влияния на агрохимические показатели серой лесной почвы: изменение показателей содержания гумуса, кислотности почвенной среды, гидролитической кислотности, суммы поглощенных оснований, щелочно-гидролизуемого азота, подвижного фосфора во всех вариантах обработки по сравнению с фоном составляло 0,3–5,4 %.

При фенологических наблюдениях за развитием яровой пшеницы было установлено, что предпосевная обработка НВФС способствовала более раннему (на 2 дня), по сравнению с другими вариантами опыта, появлению всходов. Наступление фаз кущение, удлинение стебля и выход в трубку в вариантах с предпосевной обработкой НВФС происходило на 2–3 дня раньше по сравнению с другими вариантами. Начиная с фазы колошение и далее цветение, молочная, восковая и полная спелость не выявлено существенных изменений в наступлении фенологических фаз развития яровой пшеницы. Внекорневая обработка НВФС также не оказывала существенного влияния на прохождение растениями фаз развития. Применение ФМ для обработки семян и внекорневой обработки растений не оказало достоверного влияния на фенологическое развитие.

В работе Н.Л. Шароновой с соавт. показано изменение структуры фосфоритной муки под действием ультразвука, в результате которого уменьшились размеры частиц до 50,0–100,0 нм, что обусловило комплексное изменение физико-химических свойств НВФС и повысило ее биологическую активность [11]. В исследованиях ряда авторов выявлено, что наночастицы обладают поверхностной энергией и способны передавать ее растениям в процессе предпосевной и внекорневой обработок [12–18]. Также наночастицы обладают пролонгированным действием, связанным с концентрированием ионов в компонентах растительных клеток [19].

Использование НВФС обусловило увеличение высоты растений на 10,2–16,0 % к контролю, на 6,1–11,6 % к фону с наилучшими показателями в варианте сочетания предпосевной обработки семян и двукратной

внекорневой обработки растений – 93,0 см. При применении ФМ прибавка высоты к контролю составила 6,4–8,1 %, к фону – 2,4–4,1 % с наилучшими показателями также при сочетании предпосевной обработки семян и двукратной внекорневой обработки растений – 86,7 см.

Анализ структуры урожая яровой пшеницы показал, что наибольшие показатели продуктивной кустистости выявлены при сочетании предпосевной обработки семян НВФС и внекорневой обработки растений – 5; в контроле – 2, в фоновом варианте – 3. В случае применения только одного вида обработки НВФС продуктивная кустистость составляла 4. Использование ФМ при различных способах обработки обусловило формирование 3–4 колосонесущих стебля.

В варианте предпосевной и двукратной внекорневой обработок НВФС отмечена наибольшая средняя длина колоса 12,5 см. При этом количество зерен в колосе составило 41 шт. и превысило показатели контроля на 41,4 %, фона – на 13,9 %, варианта обработок ФМ – на 7,9–13,9 %. В случае применения только предпосевной обработки семян НВФС или внекорневой обработки растений показатели были ниже: длина колоса составила 11,6 и 11,3 см, количество зерен – 39 и 38 шт. соответственно.

Применение НВФС способствовало также увеличению массы 1000 семян по сравнению с другими вариантами опыта: прирост к контролю – 13,2–18,7 %, к фону – 10,4–15,7 %, к ФМ по соответствующим вариантам обработок – 5,1–8,2 %. Наибольшее значение показателя выявлено в варианте сочетания предпосевной и двукратной внекорневой обработок НВФС – 36,8 г. При обработках ФМ отмечен меньший эффект: величина показателя варьировала в интервале 33,1–34,0 г, также с наилучшим значением при сочетании обработок.

Анализ урожайных данных яровой пшеницы показал, что масса семян по вариантам опыта находилась в пределах 19,4–36,1 г/сосуд (табл. 1).

Наименьшие показатели (19,4 г/сосуд) отмечены в контроле без удобрений, а наибольшие – (36,1 г/сосуд) в варианте при сочетании предпосевной и внекорневой обработок НВФС. При этом урожай по сравнению с контролем увеличился на 86,1 %, с фоном – на 31,3 %, с ФМ – на 19,9 %. Высокие показатели среднего урожая получены также в варианте с предпосевной обработкой семян НВФС в дозе 1,25 кг/т: прибавка к контролю составила 13,8 г/сосуд, к фону – 5,7 г/сосуд, к ФМ обычного помола – 3,8 г/сосуд. Показатели урожай-

ности при применении разных обработок ФМ обычного помола обусловили прирост урожайности яровой пшеницы на 5,5–9,5 % по сравнению с использованием минеральных удобрений.

Таблица 1

Влияние различных доз и способов применения наноструктурной водно-фосфоритной суспензии и фосфоритной муки обычного помола на урожайность яровой пшеницы сорта Эстер

№ п/п	Вариант	Средний урожай, г/сосуд	Прибавка, %	
			к фону	к ФМ обычного помола
1	Контроль – без удобрений	19,4	–	–
2	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> – фон	27,5	0	–
3	Фон + предпосевная обработка семян ФМ в дозе 1,25 кг/т	29,4	6,9	0
4	Фон + предпосевная обработка семян НВФС в дозе 1,25 кг/т	33,2	20,7	12,9
5	Фон + внекорневая обработка растений водно-фосфоритной суспензией из расчета 8 л/га	29,0	5,5	0
6	Фон + внекорневая обработка растений НВФС из расчета 8 л/га	32,7	18,9	12,8
7	Фон + предпосевная обработка семян ФМ в дозе 1,25 кг/т + внекорневая обработка растений водно-фосфоритной суспензией из расчета 8 л/га	30,1	9,5	0
8	Фон + предпосевная обработка семян НВФС в дозе 1,25 кг/т + внекорневая обработка растений НВФС из расчета 8 л/га	36,1	31,3	19,9
НСР <sub>05</sub>			0,2 г/сосуд	

Применение наноминерала обусловило повышение качества зерна яровой пшеницы по показателям натуре зерна, содержания сырой клейковины и белка (табл. 2).

Показатели натуре зерна по вариантам опыта варьировали в пределах 740–770 г/л. При применении НВФС натура зерна составила 760–770 г/л и превысила контрольные значения на 2,7–4,1 %, фоновые – на 1,6–2,9 %. Использование для обработки посевного материала и растений ФМ обычного помола обусловила незначительное повышение показателей натуре зерна: к контролю – на 1,4–1,5 %, к фону – 0,3–0,4 %.

Содержание сырой клейковины в зерне яровой пшеницы по вариантам опыта составило в среднем 21,6 %. Наибольшее значение показателя выявлено в варианте сочетания предпосевной и внекор-

невых обработок НВФС – 22,1 %: прирост к контролю составил 1,1 %, к фону – 0,7 %, к соответствующему варианту с использованием ФМ обычного помола – 0,5 %. В вариантах использования только одного вида обработки НВФС содержание сырой клейковины было ниже – 21,8 % при внекорневой обработке и 21,9 % при предпосевной обработке семян. Использование ФМ обычного помола не приводила к существенному увеличению содержания сырой клейковины в зерне.

Таблица 2

Влияние различных доз и способов применения наноструктурной водно-фосфоритной суспензии и фосфоритной муки обычного помола на показатели качества зерна яровой пшеницы сорта Эстер

№ п/п	Вариант	Натура зерна, г/л	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %
1	Контроль – без удобрений	740	11,3	21,0
2	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> – фон	748	11,9	21,4
3	Фон + предпосевная обработка семян ФМ в дозе 1,25 кг/т	750	11,9	21,5
4	Фон + предпосевная обработка семян НВФС в дозе 1,25 кг/т	762	12,5	21,9
5	Фон + внекорневая обработка растений ФМ из расчета 8 л/га	751	11,9	21,5
6	Фон + внекорневая обработка растений НВФС из расчета 8 л/га	760	12,3	21,8
7	Фон + предпосевная обработка семян ФМ в дозе 1,25 кг/т + внекорневая обработка растений ФМ из расчета 8 л/га	751	12,0	21,6
8	Фон + предпосевная обработка семян НВФС в дозе 1,25 кг/т + внекорневая обработка растений НВФС из расчета 8 л/га	770	13,0	22,1

Содержание белка в зерне пшеницы составило 11,3–13,0 %. Наибольшее значение показателя было получено при сочетании предпосевной и двукратной внекорневой обработок НВФС: прирост по сравнению с контролем составил 1,7 %, с фоном – 1,1 %, с ФМ при аналогичных условиях – 1,0 %. Также высокие значения содержания белка получены в вариантах предпосевной обработки НВФС 12,5 % и внекорневой обработки НВФС 12,3 %. В вариантах использования ФМ обычного помола содержание белка в зерне практически не отличалось от фона и составило 11,9–12,0 %.

Таким образом, комплексное использование НВФС для предпосевной обработки семян и внекорневой обработки показало лучший результат в отношении роста и развития растений яровой пшеницы, а также качественных и количественных показателей урожая.

### **Список литературы**

1. Агроминеральные ресурсы Татарстана и перспективы их использования / под ред. А.В. Якимова. – Казань: Фэн, 2002. – 272 с.
2. Изменение свойств и продуктивности чернозема выщелоченного и серой лесной почвы под влиянием мелиорантов / А.Х. Яппаров, Л.М.-Х. Биккинина, И.А. Яппаров, Ш.А. Алиев, А.М. Ежкова, В.О. Ежков, Р.Р. Газизов // Почвоведение. – 2015. – № 10. – С. 1267–1276.
3. Нанотехнологии в сельском хозяйстве: научное обоснование получения и технологии использования наноструктурных и нанокompозитных материалов / под общ. ред. А.Х. Яппарова. – Казань: Центр инновац. технологий, 2013. – 251 с.
4. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе / В.Ф. Федоренко [и др.]. – М.: Росинформагротех, 2011. – 312 с.
5. Применение нанотехнологий в сельском хозяйстве / Е.Ю. Тарасова, В.П. Коростелева, В.Я. Пономарев // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 21. – С. 121–122.
6. Кадомцева М.Е. Био- и нанотехнологии в агропродовольственном комплексе // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2015. – № 1. – С. 74–82.
7. Российский статистический ежегодник. 2017 / Росстат. – М., 2017. – 686 с.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1986. – 280 с.
9. Наноструктурные минералы: получение, химический и минеральный составы, структура и физико-химические свойства / В.О. Ежков, А.Х. Яппаров, Е.С. Нефедьев, А.М.Ежкова, И.А Яппаров, А.П. Герасимов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 11. – С. 41–45.
10. Методические указания по анализу почв, кормов, растений и удобрений. – М.: ЦИНАО, 1976. – 56 с.
11. Наноструктурная водно-фосфритная суспензия – новое перспективное удобрение / Н.Л. Шаронова [и др.] // Российские нанотехнологии. – 2015. – Т. 10, № 7–8. – С. 115–122.
12. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review / L.R. Khot, S. Sankaran, J.M. Maja // Crop Prot. – 2012. – Vol. 35. – P. 64–70.
13. Kumar V., Guleria P. Gold nanoparticle exposure induces growth and yield enhancement in *Arabidopsis thaliana* // Sci. Total Environ. – 2013. – Vol. 461–462. – P. 462–468.

14. Nanoparticulate material delivery to plants / R. Nair, S.H. Varghese, B.G. Nair [et al.] // *Plant Sci.* – 2010. – Vol. 179. – P. 154–163.

15. Role of nano-SiO<sub>2</sub> in germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* seeds Mill.) / M.H. Siddiqui, M.H. Al-Whaibi, J. Saudi // *Bio. Sci.* – 2014. – Vol. 31. – P. 13–17.

16. Alleviation of cadmium-induced root growth inhibition in crop seedlings by nanoparticles / M. Wang, L. Chen, S. Chen [et al.] // *Ecotoxicol Environ Saf.* – 2012. – Vol. 79. – P. 48–54.

17. Назарова А.А., Полищук С.Д. Нанопорошки металлов-микроэлементов для повышения урожайности и качества свеклы кормовой // *Агрохимический вестник.* – 2018. – № 1. – С. 28–30.

18. Оценка влияния органо-минеральных суспензий и их наноаналогов на морфометрические параметры гречихи и содержание белка в зерне / И.М. Суханова, И.А. Яппаров, Р.Р. Газизов, Л.М. Яппарова, И.С. Садеретдинова, Г.Х. Нуртдинова // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология.* – 2017. – № 3. – С. 7–17.

19. Чурилов Г.И. Эколого-биологические эффекты нанокристаллических металлов: дис. ... д-ра биол. наук. – Балашиха, 2010. – 332 с.

## References

1. Agromineral'nye resursy Tatarstana i perspektivy ikh ispol'zovaniia [Agromineral resources of Tatarstan and the prospects for their use]. Ed. A.V. Iakimova, Kazan', Fen, 2002, 272 p.

2. Iapparov A.Kh., Bikkinina L.M.-Kh., Iapparov I.A., Aliev Sh.A., Ezhkova A.M., Ezhkov V.O., Gazizov R.R. Izmenenie svoistv i produktivnosti chernozema vyshchelochennogo i seroi lesnoi pochvy pod vliianiem meliorantov [Changes in the properties and productivity of leached chernozem and gray forest soil under the influence of ameliorants]. *Pochvovedenie*, 2015, no. 10, pp. 1267-1276.

3. Nanotekhnologii v sel'skom khoziaistve: nauchnoe obosnovanie polucheniia i tekhnologii ispol'zovaniia nanostrukturnykh i nanokompozitnykh materialov [Nanotechnology in agriculture: the scientific rationale for the production and technology of the use of nanostructured and nanocomposite materials]. Ed. A.Kh. Iapparova, Kazan', Tsentr innovats. Tekhnologii, 2013, 251 p.

4. Fedorenko V.F. et al. Nanotekhnologii i nanomaterialy v agropromyshlennom komplekse [Nanotechnologies and nanomaterials in the agro-industrial complex]. Moscow, FGBNU «Rosinformagrotekh», 2011, 312 p.

5. Tarasova E.Iu., Korosteleva V.P., Ponomarev V.Ia. Primenenie nanotekhnologii v sel'skom khoziaistve [The use of nanotechnology in agriculture]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012, vol.15, no. 21, pp. 121-122.

6. Kadomtseva M.E. Bio- i nanotekhnologii v agropodovol'stvennom komplekse [Bio- and nanotechnologies in the agri-food complex]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Sotsial'no-ekonomicheskie nauki*, 2015, no. 1, pp.74-82.

7. Rossiiskii statisticheskii ezhegodnik. 2017: Stat.sb./Rosstat. [Russian statistical yearbook. 2017: Stat.sb./ Rosstat]. Moscow, 2017, 686 p.

8. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methods of field experience]. Moscow, Kolos, 1986, 280 p.

9. Ezhkov V.O., Iapparov A.Kh., Nefed'ev E.S., Ezhkova A.M., Iapparov I.A., Gerasimov A.P. Nanostrukturnye mineraly: poluchenie, khimicheskii i mineral'nyi sostavy, struktura i fiziko-khimicheskie svoistva [Nanostructured minerals: production, chemical and mineral composition, structure, and physico-chemical properties]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014, vol. 17, no. 11, pp. 41-45.

10. Metodicheskie ukazaniia po analizu pochv, kormov, rastenii i udobrenii [Guidelines for the analysis of soil, feed, plants and fertilizers]. Moscow, TsINAO, 1976, 56 p.

11. Sharonova N.L. et al. Nanostrukturnaia vodno-fosofritnaia suspenziia – novoe perspektivnoe udobrenie [Nanostructured water-philosophic suspension – a new promising fertilizer]. *Rossiiskie nanotekhnologii*, 2015, vol.10, no. 7-8, pp. 115-122.

12. Khot L.R., Sankaran S., Maja J.M. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review. *Crop Prot.*, 2012, vol. 35, pp. 64-70.

13. Kumar V., Guleria P. Gold nanoparticle exposure induces growth and yield enhancement in *Arabidopsis thaliana*. *Sci Total Environ.*, 2013, vol. 461-462, pp. 462-468.

14. Nair R., Varghese S.H., Nair B.G. et al. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Sci.*, 2010, vol. 179, pp. 154-163.

15. Siddiqui M.H., Al-Whaibi M.H., Saudi J. Role of nano-SiO<sub>2</sub> in germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* seeds Mill.). *Bio. Sci.*, 2014, vol. 31, pp. 13-17.

16. Wang M., Chen L., Chen S. et al. Alleviation of cadmium-induced root growth inhibition in crop seedlings by nanoparticles. *Ecotoxicol Environ Saf.*, 2012, vol. 79, pp. 48-54.

17. Nazarova A.A., Polishchuk S.D. Nanoporoshki metallov-mikroelementov dlia povysheniia urozhainosti i kachestva svekly kormovoi [Nanopowders of metal-trace elements to increase the yield and quality of fodder beets]. *Agrokhimicheskii vestnik*, 2018, no.1, pp. 28-30.

18. Sukhanova I.M., Iapparov I.A., Gazizov R.R., Iapparova L.M., Saderetdinova I.S., Nurtdinova G.Kh. Otsenka vliianiia organo-mineral'nykh suspenzii I ikh nanoanalogov na morfometricheskie parametry grechikhi i sodержanie belka

v zerne [Evaluation of the effect of organo-mineral suspensions and their nano-analogs on the morphometric parameters of buckwheat and the protein content in the grain]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaja tekhnologija i biotekhnologija*, 2017, no. 3, pp. 7-17.

19. Churilov G.I. *Ekologo-biologicheskie efekty nanokristallicheskich metallov* [Ecological and biological effects of nanocrystalline metals]. Doctor's degree dissertation. Balashikha, 2010, 332 p.

Получено 05.10.2018

### **Об авторах**

**Шаронова Наталья Леонидовна** (Казань, Россия) – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Татарский НИИАХП – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН (420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 20а; e-mail: [niiaxp2@mail.ru](mailto:niiaxp2@mail.ru)).

**Рахманова Гульнара Фанисовна** (Казань, Россия) – научный сотрудник, Татарский НИИАХП – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН (420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 20а; e-mail: [niiaxp2@mail.ru](mailto:niiaxp2@mail.ru)).

**Яппаров Ильдар Ахтамович** (Казань, Россия) – доктор биологических наук, руководитель, Татарский НИИАХП – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН (420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 20а; e-mail: [niiaxp2@mail.ru](mailto:niiaxp2@mail.ru)).

**Ильясов Марс Магсумович** (Казань, Россия) – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Татарский НИИАХП – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН (420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 20а; e-mail: [niiaxp2@mail.ru](mailto:niiaxp2@mail.ru)).

**Суханова Ирина Михайловна** (Казань, Россия) – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ученый секретарь, Татарский НИИАХП – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН (420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 20а; e-mail: [1086ab@rambler.ru](mailto:1086ab@rambler.ru)).

### **About the authors**

**Natalia L. Sharonova** (Kazan, Russian Federation) – Ph.D. in Biological Sciences, Leading Scientific Researcher, Scientific Secretary, TatarSRIAC SS – Subdivision of FIC KazanSC of RAS (20a, Orenburg tract, 420059, Kazan; e-mail: [niiaxp2@mail.ru](mailto:niiaxp2@mail.ru)).

**Gulnara F. Rakhmanova** (Kazan, Russian Federation) – Researcher, TatarSRIAC SS – Subdivision of FIC KazanSC of RAS (20a, Orenburg tract, 420059, Kazan; e-mail: [niiaxp2@mail.ru](mailto:niiaxp2@mail.ru)).

**Ildar A. Yapparov** (Kazan, Russian Federation) – Doctor in Biological Sciences, leader, TatarSRIAC SS – Subdivision of FIC KazanSC of RAS (20a, Orenburg tract, 420059, Kazan; e-mail: niiexp2@mail.ru).

**Mars M. Il'yasov** (Kazan, Russian Federation) – Ph.D. in Agricultural sciences, Senior Researcher, TatarSRIAC SS – Subdivision of FIC KazanSC of RAS (20a, Orenburg tract, 420059, Kazan; e-mail: niiexp2@mail.ru).

**Irina M. Sukhanova** (Kazan, Russian Federation) – Ph.D. in Biological Sciences, Leading Scientific Researcher, Scientific Secretary, TatarSRIAC SS – Subdivision of FIC KazanSC of RAS (20a, Orenburg tract, 420059, Kazan; e-mail: 1086ab@rambler.ru).