

В.И. Лазарев, д-р с.-х. наук, профессор, ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» (Курск), (e-mail: vla190353@yandex.ru);

Ж.Н. Минченко, науч. сотрудник, ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» (Курск), (e-mail: minchenko.knii@mail.ru);

В.Н. Куценко, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт» (Курск), (e-mail: kucenko.v@bk.ru)

В.Н. Петров, канд. ист. наук, доцент, ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт» (Курск), (e-mail: petrovs.family.46@gmail.com)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОУДОБРЕНИЯ АГРО-Н ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СОИ В УСЛОВИЯХ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье представлены результаты исследования эффективности использования нанодобрения нового поколения Агро-Н на посевах сои в условиях черноземных почв Курской области. Результаты исследования свидетельствуют о том, что биодоступность и биоусвояемость элементов минерального питания растениями сои в нанодобрении Агро-Н значительно выше, чем в нативном (азофоска) удобрении. Внесение нанодобрения Агро-Н под предпосевную культивацию не оказывало ингибирующего воздействия на микробиологическую активность почвы, повышало количество и массу азотфиксирующих клубеньков на корнях сои, что создавало оптимальные условия для получения высоких урожаев за счет воспроизводства естественного плодородия почвы. Установлено, что внесение нанодобрения Агро-Н под предпосевную культивацию в дозе N16P16K16 повышало урожайность сои на 5,8 ц/га, содержание белка в зерне на 1,0%, жира на 1,1% в сравнении с контролем, было экономически выгодно. Величина условно чистого дохода от его внесения составила 80273 руб./га (в контрольном варианте 58884руб./га), уровень рентабельности– 181,9% (в контрольном варианте 139,1%).

Ключевые слова: соя, нанодобрение Агро-Н, урожайность, структура урожая, содержание белка, жира, экономическая эффективность.

Для получения высоких и стабильных урожаев технологии возделывания сельскохозяйственных культур основаны на внесении высоких доз минеральных удобрений. Однако использование удобрений даже в рекомендованных дозах, приводит к целому ряду проблем, таких как: загрязнение окружающей среды (почва, вода); снижению эффективности использования элементов минерального питания, повышению токсичности почвы для полезной почвенной микробиоты и т.д. [6, 7, 12]. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур с целью получения высоких урожаев хорошего качества является одной из основных задач, стоящих перед сельхозтоваропроизводителями [9, 13, 15]. Достижение этой цели невозможно без серьезных знаний о свойствах почвы, биологических особенностях культур, способах и формах применения удобрений, их взаимодей-

ствии между собой и с другими объектами окружающей среды [8, 10, 21].

Как известно, элементы минерального питания, содержащиеся в почве и удобрениях, используются растениями далеко не полностью. Степень их усвоения (коэффициент использования) обуславливается многими факторами, среди которых наибольшее влияние оказывает плодородие почвы, климатические условия, биологические особенности сельскохозяйственных культур, виды минеральных удобрений, сочетание в них элементов минерального питания и т.д. [5, 19].

Одним из способов повышения коэффициентов использования элементов минерального питания растениями может стать применение нанодобрений, обладающих в силу своей активации и размерности повышенной биоактивностью и биодоступностью для растений [1, 3, 22]. В мире предпринимаются значительные усилия по развитию науч-

ной базы разработки и производства наноудобрений [14, 20]. Однако, современная ситуация характеризуется начальной стадией производства наноудобрений в ведущих странах мира, а также разнообразием методических подходов, используемых при изучении их биологической активности [11, 23].

Исследователи единодушны в утверждении о том, что наноудобрения могут стать ответом на сегодняшние вызовы: необходимость увеличения производства сельхозпродукции при одновременном снижении издержек на ее единицу и снижение рисков экологических катаклизмов [2, 17].

Одним из таких удобрений является отечественное наноудобрение Агро-Н (патент на изобретение №2724889 от 26.07.2020 г.), разработанное Региональным открытым социальным институтом в г. Курске. Технология изготовления удобрения Агро-Н предусматривает придание частицам удобрения (азофоска) наноразмера, с последующим их инкапсулированием физико-химическим методом в оболочку из полисахаридного вещества, в качестве которого использован кукурузный крахмал. В результате получаются частицы, имеющие ядро и оболочку в соотношении 1:1. Основное количество частиц удобрения приобретает размеры 40-100 нм. Благодаря наноразмерности увеличивается площадь взаимодействия и проникающая способность вещества. В силу этого повышается его биоактивность и биодоступность. Это приводит к интенсификации биохимических процессов, протекающих в растении, что обеспечивает рост его продуктивности и повышение устойчивости к воздействию вредных факторов, с одной стороны, а с другой - позволяет значительно сократить количество используемого удобрения, что способствует снижению экономических издержек и загрязнения окружающей среды.

Однако, в настоящее время исследований по изучению эффективности использования наноудобрений нового поколения при возделывании сельскохозяйственных культур в конкретных почвенно-климатических условиях, явно недостаточно. Отмечается различная реакция разных сельскохозяйственных культур на действие наноудобрений [4, 16, 18].

В связи с этим, изучение эффективности использования наноудобрения отечественного производства Агро-Н, определение его влияния на рост и развитие растений, симбиотическую деятельность, фитосанитарное состояние посевов, микробиологическую активность почвы, урожайность, качество зерна сои в почвенно-климатических условиях Курской области является актуальной задачей, имеющей важное теоретическое и практическое значение.

Материалы и методы

Изучение эффективности использования отечественного наноудобрения Агро-Н на посевах сои проводилось в 2022 году в опыте лаборатории технологий возделывания полевых культур ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в севообороте со следующим чередованием культур: яровой ячмень – соя – яровая пшеница. Схема опыта включала в себя: 1. Контроль (без внесения удобрений), 2. Азофоска НРК-16-16-16 (гравулы) в дозе N32P32K32 под предпосевную культивацию 3. Агро-Н (Азофоска НРК-16-16-16 (наногранулы) в дозе N₁₂P₁₂K₁₂ под предпосевную культивацию.

Агро-Н – это наноудобрение азофоски НРК (16:16:16), произведенное по патенту на изобретение (№2724889 от 26.07.2020 г). Патентообладатель: Частное образовательное учреждение высшего образования «Региональный открытый социальный институт» (ЧОУ ВО «РОСИ»).

В технологию изготовления наноудобрения входят дробление и измельчение гранулированного удобрения азофоска до порошкообразного состояния. Затем удаление загрязнений с поверхностей частичек порошка и активация этих поверхностей с последующим нанесением на них по запатентованной технологии тончайшего слоя кукурузного крахмала. Наночастицы распределяются в диапазоне 40-100 нм. Соотношение ядра (удобрение) и оболочки (кукурузный крахмал) составляет 1:1, таким образом содержание действующего вещества в наноудобрении составляет 50% от нативной формы удобрения азофоска.



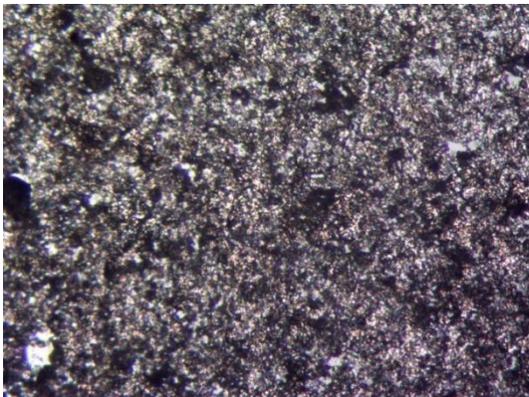
а

б

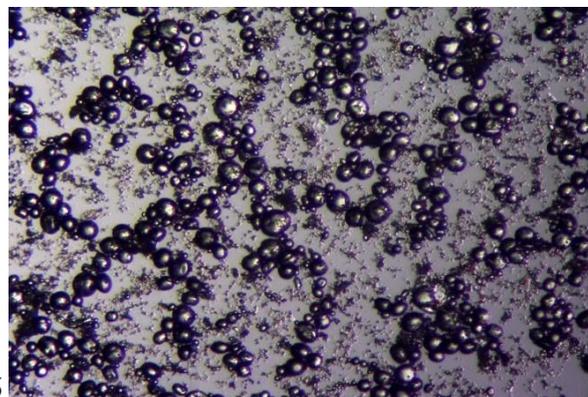
Рисунок 1 – Азофоска: а- наноформа; б- традиционная форма

Микроструктура наноудобрения Агро-Н состоит из самоорганизованных энергетических цепочек, образованных активными компонентами (NPK), которые находятся на едином наноносителе (кукурузном крахмале). Однородный полимерный наноноситель обеспечивает диффузионную миграцию активных компонентов к поверхности наноформы. Полимерным носителем регулирует скорость выделения из нанообъекта (Агро-Н) активных компонентов и обеспечивает возможность их высвобождения по мере накопления активных частиц на границе наноформы (микроформы) препарата в квантовом режиме, т.е. обеспечивает минеральным питанием растений в течение длительного времени. Наноудобрение Агро-Н хорошо растворяется в воде, что по-

вышает биоактивность и биодоступность элементов минерального питания, находящихся в удобрении, дает возможность использования его в качестве корневой и внекорневой подкормок. Оболочка частиц наноудобрения из природного органического вещества (кукурузный крахмал) увеличивает концентрацию биополезных ингредиентов в удобрении, усваиваемых растениями и способствует, как энергетический материал, интенсификации процессов, в том числе фотосинтеза. Кроме того, оболочка и наноноситель обладают повышенной гигроскопичностью, поэтому они благоприятно влияют на рациональный водобмен и являются микросредой для зарождения и обитания полезных бактерий в ризосфере растений.



а



б

Рисунок 1.1 – Микроструктура азофоски (а) и Агро-Н (б), полученная при растворении в дистиллированной воде концентрацией 1:100 и испарении на предметном стекле, x 100.

Почва опытного участка представлена черноземом типичным мощным, тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Содержание гумуса в пахотном слое составляет 5,5%, щелочногидролизующего азота 70 мг/кг, подвижного фосфора – 89, мг/кг почвы, обменного калия – 160 мг/кг почвы. Реакция почвенной среды слабокислая (рН 5,3).

Повторность в опыте 3-кратная, варианты располагались систематически в один ярус. Делянки имели форму вытянутого прямоугольника. Размер учетной делянки 200 м² (4,0х50).

Технология возделывания сои соответствовала рекомендованной для хозяйств Центрально-Черноземного региона. Сорт сои – Казачка, норма посева - 0,6 млн. всхожих семян на гектар, способ посева – рядовой (ширина междурядий 15 см). Уборка и учет урожая проводилась самоходным комбайном "Сампо-500" прямым комбайнированием. Пересчет урожая проводился на 100%-ную чистоту и 12%-ную влажность зерна. Для определения структуры урожая за один-два дня до начала уборки сои с каждой делянки отбирались по 4 сноповых образца. После просушки снопов определялось: количество бобов с 1 растения; количество зерен в 1 бобе; масса зерна с 1 растения; масса 1000 зерен.

В образцах зерна сои определялось содержание белка и жира на анализаторе зерна «Infratec™1241». Натура зерна (ГОСТ-10840-76), масса 1000 зерен (ГОСТ-10842-76). Экономическая эффективность применения наноудобрения Агро-Н рассчитывалась по общепринятой методике. Для обработки экспериментальных данных применялся дисперсионный метод математического анализа по Б.А. Доспехову (1985).

Метеорологические условия 2022 года сложились благоприятно для роста и развития сои. Начальный период ее вегетации характеризовался прохладной и влажной погодой. Количество осадков, выпавшее в апреле, составило 91,4 мм, (среднегодовое их количество равно 35 мм), при среднесуточной температуре этого периода на 1,0°С выше

нормы (6,7°С). Среднемесячная температура мая была на 1,8°С ниже нормы (13,8°С), а сумма осадков превышала среднегодовое их количество на 34,6 мм и составила 84,6 мм. Вторая половина вегетационного периода сои характеризовалась теплой и сухой погодой. В среднем за июнь-август температура воздуха составила 20,6°С, или на 2,5°С выше нормы, а количество осадков – 103,8 мм или 53,5% от среднегодового их значения (194 мм).

Результаты и их обсуждение

Наблюдения за ростом и развитием растений в опыте показали, что внесение различных минеральных удобрений оказывало стимулирующее влияние на рост и развитие растений сои, наступление ее фенологических фаз. Всходы сои появились на 11-й день после посева практически одновременно, как в контрольном варианте, так и в вариантах с внесением аммофоски и наноудобрения Агро-Н. В дальнейшем, наступление фазы «появление 6-го тройчатого листа» и фазы «цветение» в вариантах с внесением минеральных удобрений происходило на 2 дня раньше, а наступление фазы «спелость зерна» на 2 дня позже, чем в контрольном варианте (без внесения удобрений). То есть внесение минеральных удобрений способствовало удлинению активной вегетации сои на 4 дня. Разницы в наступлении фенологических фаз развития сои в вариантах с внесением азофоски и наноудобрения Агро-Н не наблюдалось.

Использование различных минеральных удобрений на посевах сои способствовало лучшему росту и развитию растений. Наблюдалось образование более мощной вегетативной массы и корневой системы в сравнении с контрольным вариантом (Рис. 2).

Наблюдения за микробиологической активностью почвы, которая определялась по разложению льняной ткани через 60 дней после закладки ее в слой почвы 0-20 см. показали, что на ее интенсивность существенное влияние оказывали, метеорологические условия и минеральные удобрения.



Контроль

Азофоска

Агро-Н

Рисунок 2 – Влияние различных минеральных удобрений на рост и развитие растений сои (фаза бутонизации)

Таблица 1 – Влияние минерального (азофоска) и наноудобрения (Агро-Н) на степень разложения льняных полотен

Варианты.	Через 60 дней			
	вес ткани до закладки, г	вес ткани после закладки, г	вес разложившейся ткани, г	степень разложения, %
1. Контроль	8,38	6,18	2,2	26,2
2. NPK (16-16-16), азофоска (гранулы)	7,76	6,56	1,2	15,5
3. NPK (16-16-16), Агро-Н (наногранулы)	7,74	5,84	1,9	24,5

Вследствие засушливой погоды в период нахождения льняных полотен в почве степень разложения льняных полотен в опыте колебалась от 15,5% до 26,2%. (Табл. 1).

Максимальная активность почвенной микрофлоры отмечалась в контрольном варианте (без внесения минеральных удобрений) –

26,2%. Внесение минерального удобрения (азофоска) в дозе $N_{32}P_{32}K_{32}$ под предпосевную культивацию сои приводило к снижению микробиологической активности почвенной микрофлоры, убыль льняной ткани в этом варианте составила 15,5% или на 10,7% ниже, чем в контрольном варианте (Рис. 3).



Контроль

НРК-нано (Агро-Н)

НРК-гранулы (азофоска)

Рисунок 3 – Степень разложения льняных полотен под влиянием минерального удобрения азофоска и наноудобрения Агро-Н за 60 дней

В варианте с внесением наноудобрения Агро-Н под предпосевную культивацию степень разложения льняного полотна составила 24,5%, что практически равно степени разложения льняной ткани контрольного варианта. Это свидетельствует об отсутствии негативного влияния наноудобрения Агро-Н на микробиоту почвы, а, следовательно, его высокой экологичности

Важной биологической особенностью сои, является усвоение азота воздуха в симбиозе с клубеньковыми бактериями. Соя, будучи новой культурой в Центральном Черноземье, нуждается в обязательной инокуляции активными штаммами виру-

лентных клубеньковых бактерий. Эффективность бобово-ризобияльного симбиоза зависит от величины и активности симбиотического аппарата. Чаще всего в качестве этих показателей используют количество и массу клубеньков на одно растение.

Проведенные исследования показали, что использование различных минеральных удобрений (азофоска, Агро-Н) на посевах сои способствовало созданию оптимальных условий для нормальной жизнедеятельности клубеньковых бактерий, что в свою очередь приводило к увеличению количества и массы клубеньков на корневой системе сои (Рис. 4)



Контроль

НРК-нано (Агро-Н)

НРК-гранулы (азофоска)

Рисунок 4 – Корневая система сои с клубеньками в вариантах с использованием различных удобрений (фаза плодообразования), 2022 г.

Установлено, что внесение минерального удобрения азофоска в дозе $N_{32}P_{32}K_{32}$ под предпосевную культивацию сои увеличивало количество азотфиксирующих клубеньков на 15,1 шт., массу – на 0,46 г в сравнении с контрольным вариан-

том. Внесение под предпосевную культивацию наноудобрения Агро-Н повышало количество клубеньков на корнях сои на 17, 4 шт., массу клубеньков – на 0,53 г в сравнении с контрольным вариантом.

Таблица 2 – Влияние минерального (азофоска) и наноудобрения (Агро-Н) на количество и массу клубеньков на корнях сои (фаза плодообразования)

Варианты опыта	Количество клубеньков, шт.	Масса клубеньков, г
1.Контроль	24,5	0,73
2.NPK(16-16-16)-азофоска в дозе $N_{32}P_{32}K_{32}$ под предпосевную культивацию	39,6	1,18
3.NPK(16-16-16)- нано удобрение Агро-Н в дозе $N_{12}P_{12}K_{12}$ под предпосевную культивацию	41,9	1,26

Основными элементами структуры урожая, которые определяют уровень урожайности зерна сои, является количество

бобов с одного растения, озереженность боба и масса 1000 зёрен (Табл. 3).

Таблица 3 – Влияние минерального (азофоска) и наноудобрения (Агро-Н) на элементы структуры урожая сои

Варианты опыта	Высота стебля, (см)	Высота при-крепления нижнего боба, (см)	Кол-во бобов/1 растения, (шт.)	Озерённость 1боба, (шт.)	Масса зерна с 1 растения, (г)	Масса 1000 зерен, (г)
1. Контроль	77,1	17,5	22,5	2,03-	5,20	113,4
2.NPK (16-16-16)- азофоска в дозе $N_{32}P_{32}K_{32}$ под предпосевную культивацию	82,1	18,4	23,5	2,14-	5,81	116,2
3.NPK (16-16-16)- нано удобрение Агро-Н в дозе $N_{12}P_{12}K_{12}$ под предпосевную культивацию	83,4	18,9	23,3	2,12	5,75	116,0

Наши исследования показали, что внесение минерального удобрения азофоска в дозе $N_{32}P_{32}K_{32}$ под предпосевную культивацию сои способствовало повышению количества бобов с одного растения на 1,0 шт., (в контрольном варианте – 22,5 шт.), количество зерен в бобе на 0,11 шт. (в контрольном варианте – 2,03 шт.), массу 1000 зерен на 2,8 г (в контрольном варианте – 113,4 г). Влияние наноудобрения Агро-Н при внесении его под предпосевную культивацию на элементы структуры урожая сои было немного ниже - количество бобов с одного растения в этом варианте составило

23,3 шт., количество зерен с одного боба 2,12 шт., масса 1000 зерен – 116,0 г.

Более высокие показатели структуры урожая, в вариантах с использованием минеральных удобрений, обеспечили более высокую урожайность сои. Эффективность внесения минерального удобрения азофоска в дозе $N_{32}P_{32}K_{32}$ и наноудобрения Агро-Н в дозе $N_{12}P_{12}K_{12}$ под предпосевную культивацию сои была практически равной – прибавки урожая от их внесения составили 6,1-5,8 ц/га или 24,9-22,9%, по отношению к контролю, где удобрения не вносились (25,3 ц/га) (Табл.4).

Таблица 4 – Влияние минерального (азофоска) и наноудобрения (Агро-Н) на урожайность и качество зерна сои

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка		Содержание,%		Натура зерна, г/л
		ц/га	%	белок	жир	
1. Контроль	25,3	-		37,5-	21,8-	715
2. NPK (16-16-16)- азофоска в дозе N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂ под предпосевную культивацию	31,4	6,1	24,9	38,6-1,1	22,7-0,9	730 -15
3. NPK (16-16-16)- нано удобрение Агро-Н в дозе N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂ под предпосевную культивацию	31,1	5,8	22,9	38,5-1,0	22,9-1,1	729-14
НСР05		1,04		0,4	0,6	4,3

Внесение азофоски (NPK 16-16-16) в дозе N₃₂P₃₂K₃₂ и наноудобрения (Агро-Н) в дозе N₁₂P₁₂K₁₂ под предпосевную культивацию сои оказывало практически одинаковое влияние на показатели качества зерна сои: содержание белка повышалось на 1,1-1,0%, жира на 0,9-1,1%, соответственно.

Экономическая эффективность использования минеральных удобрений на посевах сои зависела от их влияния на урожайность сои, стоимости самих удобрений и норм внесения. В контрольном варианте (без применения минеральных удобрений) урожайность сои составила 25,3 ц/га. При цене зерна 40000 руб. за 1 т,

стоимость валовой продукции с 1 гектара составила 101200 руб., величина условно чистого дохода – 58884 руб./га, а уровень рентабельности – 139,1 %.

Внесение минерального удобрения азофоска в дозе N₃₂P₃₂K₃₂ под предпосевную культивацию обеспечивало получение 31,4 ц/га или на 6,1ц/га выше в сравнении с контрольным вариантом, способствовала увеличению производственных затрат до 45987руб./га (в контрольном варианте 42316 руб./га), обеспечивало получение 79613 руб./га условно чистого дохода, при уровне рентабельности равном 173,1% (Табл. 5).

Таблица 5 – Экономическая эффективность использования минерального (азофоска) и наноудобрения (Агро-Н) на посевах сои, 2022 г.

Варианты	Урожайность, ц/га	Стоимость валовой продукции, руб.	Производственные затраты, руб.	Себестоимость, руб./ц	Чистый доход, руб./га	Уровень рентабельности,%
1.Контроль	25,3	101200	42316	1672,56	58884	139,1
2. NPK(16-16-16) азофоска (N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂)	31,4	125600	42316 +3271+400= 45987	1464,55	79613	173,1
2. NPK(16-16-16) Агро-Н (N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂)	31,1	124400	42316 +1410+ 400= 44127	1418,87	80273	181,9

Наиболее высокие экономические показатели при возделывании сои были получены в варианте с использованием наноудобрения Агро-Н, внесение которого

под предпосевную культивацию в дозе N₁₂P₁₂K₁₂ обеспечивало получение 80273 руб./га условно чистого дохода, при уровне рентабельности равном 181,9%.

При сравнении эффективности внесения азофоски и наноудобрения Агро-Н между собой установлено, что за счет снижения дозы внесения эффективность наноудобрения Агро-Н возрастала. Так, себестоимость 1-го ц зерна сои снижалась на 30,57 руб., величина условно чистого дохода повышалась на 190 руб./га, уровень рентабельности на 5,8%, в сравнении с вариантом, где вносилась азофоска в дозе $N_{32}P_{32}K_{32}$.

Заключение

Результаты проведенных испытаний наноудобрения Агро-Н свидетельствуют о высокой эффективности его применения на посевах сои в условиях черноземных почв Курской области. Установлено, что внесение наноудобрения Агро-Н под предпосевную культивацию в дозе $N_{12}P_{12}K_{12}$ повышало урожайность сои на 5,8 ц/га, содержание белка в зерне на 1,0%, жира на 1,1% в сравнении с контролем. Сравнительный анализ эффективности использования азофоски и наноудобрения Агро-Н между собой показал, что, снижение дозы действующего вещества в 2,7 раза при внесении наноудобрения по сравнению с азофоской, обеспечивало практически равные прибавки урожайности сои, соответственно 5,8 и 6,1 ц/га при НСР05 равной 1.04 ц/га. То есть, биодоступность и биоусвояемость растениями сои элементов минерального питания из наноудобрения Агро-Н была значительно выше, чем при использовании нативного удобрения (азофоска). При этом в вариантах с использованием наноудобрения Агро-Н активность микробиоты почвы сохранялась на уровне контрольного варианта (без внесения удобрений), количество и массы азотфиксирующих клубеньков на корнях сои увеличивалось за счет воспроизводства естественного плодородия почвы, закладывавшая повышенный потенциал для будущих урожаев. Использование наноудобрения Агро-Н при возделывании сои было экономически выгодно и экологически целесообразно.

Список литературы и источников:

1. Арсентьева, И.П. Аттестация и применение наночастиц металлов в качестве биологически активных препаратов [Текст] / И.П. Арсентьева, Е.С. Зотова, Г.Э. Фолманис // Нанотехника. Спец. выпуск «Нанотех-

нологии в медицине». – 2007. – № 2 (10). – С. 72–77.

2. Балабанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего. – М.: Эксмо, 2009. – 247 с.

3. Виноградов Д.В., Потапова Л.В. Использование ультрадисперсных металлов в сельскохозяйственном производстве // Международный технико-экономический журнал. – 2009. – №3. – С. 40-43.

4. Гмошинский И.В., Смирнова В.В., Хотимченко С.А. Современное состояние проблемы оценки безопасности наноматериалов // Российские нанотехнологии. – 2010. – Т. 5. – № 9-10. – С. 6-10.

5. Дмитриев, А.Д. Основы физиологии питания: Учебное пособие / А. Д. Дмитриев. – Саратов: Вузовское образование, 2018. – 230 с.

6. Захарова, О.В. Фотокаталитически активные наночастицы оксида цинка и диоксида титана в клональном микроразмножении растений: перспективы / О.В. Захарова, А.А. Гусев // Российские нанотехнологии. – 2019. – Т. 14. – № 9-10. – С. 3-17.

7. Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика. – М.: Изд-во МСХА, 2000. – 473 с.

8. Милащенко Н.З., Трушкин С.В. К проблеме освоения инновационных технологий // Плодородие. – 2011. – №3. – С. 50-52.

9. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические проблемы современного земледелия / В.Г. Минеев // Экологические функции агрохимии в современном земледелии. – М.: ВНИИА, 2008. – С. 5-8.

10. Сычев В.Г., Беличенко М.В., Романенков В.А. Результаты мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности севооборотов и изменения свойств почв в длительных опытах Географической сети // Плодородие. – 2017. – №6. – С. 2-7.

11. Тимошенко А. Н., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Оценка экотоксичности наночастиц тяжелых металлов по биологическим показателям чернозема. – Ростов-на-Дону-Таганрог: Южный федеральный университет, 2017. – 106 с.

12. Цицуашвили В.С., Минкина Т.М., Невидомская Д.Г. [и др.] Воздействие наночастиц меди на растения и почвенные микроорганизмы (обзор литературы) // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 3(39). – С. 93-100.

13. Чекмарев П.А., Лукин С.В. Итоги реализации программы биологизации

земледелия в Белгородской области // Земледелие. – 2014. – №8. – С. 3-6.

14. Чурилов Г.И., Обидина И.В., Чурилов Д.Г., Полищук С.Д. Влияние размера и концентрации наночастиц металлов на их биологическую активность // Современная наука: актуальные вопросы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». – 2020. – № 3. – С. 62-69.

15. Шафран С.А., Кирпичников Н.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах //Агрохимия. – №4. – 2019. – С. 3-10.

16. Almutairi Z.M. Effect of nano silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under salt stress // PlantOmics J. – 2016. – Vol. 9. – P. 106-114.

17. Khot L.R., Sankaran S., Maja J.M. et al. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review // Crop Prot. –2012. – Vol. 35. – P. 64-70.

18. Laware S.L., Raskar S. Effect of titanium dioxide nanoparticles on hydrolytic and antioxidant enzymes during seed germination in onion // Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. – 2014. – Vol. 3. – P. 749-760.

19. Mc Grath J.M., Spargo J. and Penn K.J. Soil fertility and plant nutrition. In: Neil V.A. Alfen, Editor-in-chief. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, San Diego: Elsevier: – 2014. – V. 42. – P. 166-184

20. Smeetraj G., Tejas B., Markna, J. A. Review on Nanomaterials as Fertilizer in Agricultural Sector and its Analysis. Nano Progress.3. 10.36686/Ariviyal.NP. Nano Prog. – 2021. – V. 3(5). – P. 10-16.

21. Soliman A.Sh., El-feky S.A., Darwish E. Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar application of nanofertilizers // J. Hort. For. – 2015. – Vol. 7. – P. 36-47.

22. Subramanian K.S., Manikandan A., Thirunavukkarasu M., Sharmila Rahale C. Nano-fertilizers for balanced crop nutrition // Nanotechnologies in Food and Agriculture / M. Rai, C. Ribeiro, L. Mattoso, N. Duran (eds.). Chapter:4. Switzerland: Springer International Publishing, – 2015. – P. 69-80.

23. Venkatachalam P., Priyanka N., Manikandan K. et al. Enhanced plant growth promoting role of phycomolecules coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) // Plant Physiology and Biochemistry. – 2017. – Vol. 110. – P. 118-127.

V.I. Lazarev, Doctor of Science, Professor, Kursk Federal Agrarian Scientific Center (Kursk), (e-mail: vla190353@yandex.ru);

Zh.N. Minchenko, researcher, Kursk Federal Agrarian Scientific Center (Kursk), (e-mail: minchenko.knii@mail.ru);

V.N. Kutsenko, Candidate of Science, senior researcher, Regional Open Social Institute (Kursk), (e-mail: kucenko.v@bk.ru);

V.N. Petrov, Candidate of Science, Docent, Regional Open Social Institute (Kursk), (e-mail: petrovs.family.46@gmail.com)

THE EFFECTIVENESS OF THE AGRO-N NANOFERTILIZER USE

IN SOYBEAN CULTIVATION IN THE CONDITIONS OF THE KURSK REGION

The paper presents the results of a study of Agro-N, a new generation nanofertilizer effectiveness on soybean

crops in the conditions of chernozem soils of the Kursk region. The research outcomes indicate that the

bioavailability and bioavailability of elements of mineral nutrition by soybean plants in Agro-N nanodertili

zation is significantly higher than in native (azofoska) fertilizer. The introduction of Agro-N nano-fertilizer

for pre-sowing cultivation did not have an inhibitory effect on the microbiological activity of the soil, in

creased the number and mass of nitrogen-fixing nodules on soybean roots, which created optimal conditions

for obtaining high yields due to the reproduction of natural soil fertility. It was found that the introduction of

Agro-N nanofertilizer for pre-sowing cultivation at a dose of N16P16K16 increased the yield of soybeans by

5.8 centners/ha, the protein content in the grain by 1.0%, fat by 1.1% in comparison with the control, was economically advantageous. The value of the conditional net income from its introduction amounted to

80273 rubles/ha (in the control version 58,884 rubles/ha), the level of profitability of 181.9% (in the control

version 139.1%).

Keywords: *soy, Agro-N nano-fertilizer, yield, the structure of the crop, protein content, fat, economic efficiency*

