

УДК 631.8:633.1

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2022-365-12-104-109

Р.Р. Газизов, ✉
Е.А. Прищепенко,
Г.Ф. Рахманова,
Р.Р. Маснавиева

Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Российская Федерация

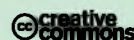
✉ rasim_0410@mail.ru

Поступила в редакцию:
08.06.2022

Одобрена после рецензирования:
29.10.2022

Принята к публикации:
23.11.2022

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2022-365-12-104-109

Rasim R. Gazizov, ✉
Elena A. Prishchepenko,
Gulnara F. Rakhmanova,
Rufina R. Masnavieva

Tatar Research Institute of Agrochemistry and Soil Science – a separate structural subdivision of the Federal Research Center of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russian Federation

✉ rasim_0410@mail.ru

Received by the editorial office:
08.06.2022

Accepted in revised:
29.10.2022

Accepted for publication:
23.11.2022

Влияние предпосевной обработки семян сапропелем и биогумусом на урожайность овса и ячменя и содержание основных элементов питания в зерне

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Выбор форм и видов препаратов для предпосевной обработки семян, а также регуляторов роста имеет важное значение для развития и уровня урожайности сельскохозяйственных культур. Поэтому поиск и применение эффективных и безопасных средств для обработки семян является актуальной задачей.

Методы. Вегетационный опыт заложен в 2018–2020 годах на овсе и ячмене в сосудах Вагнера объемом 5 кг. Семена культур перед посевом замачивались в суспензиях сапропеля и биогумуса в обычном виде и в ультрадисперсной форме, полученной методом диспергирования ультразвуком в деионизированной воде. Учет урожая – в фазу полной спелости культур со всех растений в сосуде. Качественный анализ растительных образцов осуществляли на приборах в соответствии с установленными ГОСТами.

Результаты. В опыте с овсом максимальная достоверная прибавка зерна получена в варианте с обработкой семян ультрадисперсной формой биогумуса – 17,8% по сравнению с фоном, в варианте с ультрадисперсным сапропелем – 9,6%. В опыте 2019 года с ячменем урожайность повысилась на 12,0 (обработка сапропелем) и 11,5% (обработка биогумусом) по сравнению с фоном, при использовании ультрадисперсных форм – на 34,8 и 29,8% соответственно. В 2020 году прибавка урожая при применении обычной формы составила 15 и 21,0%, ультрадисперсной – 21,3 и 28,0% соответственно. Содержание золы, азота, фосфора и калия в зерне овса увеличилось на 7,2; 4,8; 20,5 и 14,3% соответственно, достигнув максимума при обработке ультрадисперсными частицами. В опыте 2019 года с ячменем содержание золы повысилось на 16,1%, азота – на 27,7%, белка – на 16,4–18,3%, фосфора и калия – на 12,6 и 28,3% соответственно. В 2020 году содержание золы было максимальным среди всех вариантов и повысилось на 11,3%, фосфора на 13,6%, азота – на величину от 1,75 до 1,95%. Содержание белка в зерне составило 10,3–10,7%, калия – до 7%.

Ключевые слова: сапропель, биогумус, ячмень, овес, обработка семян, урожайность, ультрадисперсные частицы, химический состав зерна

Для цитирования: Газизов Р.Р., Прищепенко Е.А., Рахманова Г.Ф., Маснавиева Р.Р. Влияние предпосевной обработки семян сапропелем и биогумусом на урожайность овса и ячменя и содержание основных элементов питания в зерне. *Аграрная наука*. 2022; 365 (12): 104–109. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-104-109>

© Газизов Р.Р., Прищепенко Е.А., Рахманова Г.Ф., Маснавиева Р.Р.

Influence of pre-sowing treatment of seeds with sapropel and biohumus on the yield of oats and barley and the content of basic nutrients in grain

ABSTRACT

Relevance. The choice of forms and types of preparations for presowing seed treatment, as well as growth regulators is important for the development and level of crop yields. Therefore, the search and application of effective and safe means for seed treatment is an urgent task.

Methods. The vegetation experiment was laid in 2018–2020 on oats and barley in 5 kg Wagner vessels. Seeds of cultures before sowing were soaked in suspensions of sapropel and biohumus in the usual form and ultrafine form, obtained by ultrasound dispersion in deionized water. Harvest accounting – in the phase of full ripeness of crops from all plants in the vessel. Qualitative analysis of plant samples was carried out on devices in accordance with the established state standards.

Results. In the experiment with oats, the maximum significant increase in grain was obtained in the variant with seed treatment with an ultrafine form of biohumus – 17.8% compared to the background, in the variant with ultrafine sapropel – 9.6%. In the 2019 experiment with barley, the yield increased by 12.0 (treatment with sapropel) and 11.5% (treatment with biohumus) compared to the background, when using ultrafine forms – by 34.8% and 29.8% respectively. In 2020, the yield increase when using usual form was 15 and 21.0%, ultrafine form – 21.3 and 28.0% respectively. The content of ash, nitrogen, phosphorus and potassium in oat grain increased by 7.2; 4.8; 20.5 and 14.3% respectively, reaching a maximum with the usage of ultrafine form. In the 2019 experiment with barley, the ash content increased by 16.1%, nitrogen – by 27.7%, protein – by 16.4–18.3%, phosphorus and potassium – by 12.6 and 28.3% respectively. In 2020, the ash content was the highest among all variants and increased by 11.3%, phosphorus – by 13.6%, and nitrogen – by 1.75–1.95%. The protein content in the grain was 10.3–10.7%, potassium – up to 7%.

Key words: sapropel, biohumus, barley, oats, seed treatment, yield, ultrafine particles, chemical composition of grain

For citation: Gazizov R.R., Prishchepenko E.A., Rakhmanov G.F., Masnavieva R.R. Influence of pre-sowing treatment of seeds with sapropel and biohumus on the yield of oats and barley and the content of basic nutrients in grain. *Agrarian science*. 2022; 365 (12): 104–109. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-104-109> (In Russian).

© Gazizov R.R., Prishchepenko E.A., Rakhmanov G.F., Masnavieva R.R.

Введение / Introduction

Интенсификация производства сельскохозяйственной продукции способствует повышению продуктивности культур, однако часто это достигается за счет увеличения затрат на технологические приемы. К тому же интенсивное применение агрохимикатов негативно влияет на здоровье почвы, что приводит к низкой эффективности использования культурами элементов питания и загрязнению окружающей среды [1].

В данной ситуации все большее внимание уделяется биопрепаратам и биоудобрениям, полученным из природного сырья.

Одним из самых безопасных методов обработки посевного материала является использование био- и гормональных препаратов, различных природных полифункциональных регуляторов роста, наноматериалов, которые наряду с увеличением продуктивности культур повышают их устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды, улучшают сопротивляемость болезням, повышают усвояемость питательных веществ и при этом являются экологически безопасными [4–9].

Известно, что комплексным влиянием на развитие растений обладают наноразмерные материалы, но потенциал использования их в сельском хозяйстве пока не реализован [10, 11].

Наноразмерные частицы металлов и их оксиды как средства предпосевной обработки семенного материала способствует снижению зараженности семян зерновых культур (яровой пшеницы, ячменя) в 1,75–3,6 раза [12, 13].

Среди эффективных природных полифункциональных удобрений важная роль отводится биогумусу и сапропелю. Биологическая активность биогумуса определяется наличием гуминовых и фульвокислот, витаминов, природных фитогормонов, макро- и микроэлементов в виде биодоступных органических соединений [14].

Биогумус является экологически чистым органическим удобрением, свободным от химических добавок и патогенных организмов. Он ускоряет процесс прорастания семян, увеличивает скорость роста; при его применении наблюдается усиление энергии прорастания семян ячменя и других зерновых, зеленых культур, корнеплодов [15–18].

Благодаря составу и свойствам сапропели также представляют интерес в качестве безопасных удобрений для повышения почвенного плодородия и получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур [19–22].

Целью исследований являлось изучение влияния предпосевной обработки суспензиями сапропели и биогумуса в нативной и ультрадисперсной форме на урожайность овса и ячменя, качественные показатели зерна.

Материал и методы исследования / Materials and method

Исследования проводились в 2018–2020 гг. в вегетационном опыте в сосудах Вагнера объемом 5 кг. Почва опыта – серая лесная среднесуглинистая со следующими агрохимическими показателями: гумус – 2,6%, pH_{KCl} – 5,9, H_r – 1,5 мг-экв./100 г почвы, сумма поглощенных оснований – 19,3 мг-экв./100 г почвы, $N_{щел.}$ – 100,2 мг/кг, P_2O_5 – 122 мг/кг, K_2O – 115 мг/кг.

Повторность опытов трехкратная. В 2018 году объектом исследования стал овес сорта Конкур, в 2019–2020 гг. изучаемая культура – ячмень сорта Прерия. В качестве фона вносили в почву перед посевом комплексное минеральное удобрение азофоску с массовой долей питательных веществ N – 16%, P – 16%, K – 16% из расчета по 60 кг д.в. на гектар.

В опытах применяли сапропель месторождения озера Белое Республики Татарстан и биогумус производства «Грин-ПИК» (г. Ковров Владимирской области). Влажность сапропеля – 59%, $pH_{сол.}$ – 7,8, влажность биогумуса – 35%, $pH_{сол.}$ – 7,5.

Количественный химический состав сапропеля и биогумуса определен методом селективного атомно-абсорбционного анализа на спектрометре МГА-1000 и методом количественного анализа на спектрофотометре ПЭ-5400УФ.

При анализе образцов зерна использованы методики: определения зольности, ГОСТ 10847-2019; содержания общего азота в зерне, ГОСТ 13496.4-2019; общего фосфора в зерне, ГОСТ 26657-97; общего калия в зерне, ГОСТ 30483-97; клетчатки в зерне, ГОСТ 31675-2012.

Подготовленные суспензии с семенами культур помещали в шейкер на 2 часа для равномерного распределения вещества с последующим высевом в сосуды с почвой.

Величину урожайности определяли в фазу полной спелости культуры, со всех растений в сосуде, взвешивая на лабораторных весах.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью электронных таблиц «Microsoft Excel» по методу дисперсионного анализа Б.А. Доспехова.

Для получения ультрадисперсных частиц из сапропеля и биогумуса был использован метод ультразвукового воздействия. Исходные измельченные вещества помещали в деионизированную воду и подвергали ультразвуковому диспергированию на приборе УЗУ-0,25. В результате получили суспензию равномерно распределенных частиц вещества наноструктурного диапазона размером 5,0–120 нм, которые составляли не менее 60% от общего числа частиц. Дисперсность частиц изучаемых удобрений подтверждена методом атомно-силовой микроскопии и счетчика наночастиц.

Таблица 1. Состав сапропеля, в % на сухое вещество
Table 1. Composition of sapropel, in % of dry matter

Орган. в-во	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Микроэлементы Mn, Cu, Zn – не превышают ПДК
31,3	18,9	11,7	5,1	1,23	0,45	0,82	1,27	2,42	

Таблица 2. Состав биогумуса, в % на сухое вещество
Table 2. Composition of biohumus, in % on dry matter

Орган. в-во	CaO	Al ₂ O ₃	N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Содержит комплекс микроэлементов
30,0	1,03	5,1	1,85	1,78	2,33	

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализировали урожайность культур по вариантам опыта (табл. 3). Результаты исследований 2018 года по предпосевной обработке семян овса в суспензиях сапропеля и биогумуса показали незначительную прибавку урожая культуры: в варианте с сапропелем – 3,4%, биогумусом – 5,5% относительно фона.

Использование ультрадисперсных форм сапропеля и биогумуса показало лучшую отзывчивость культуры, которая отразилась на увеличении урожайности овса, особенно в варианте с нанобиогумусом, где получена достоверная прибавка урожая зерна на 17,8% по сравнению с фоном. Действие ультрадисперсных частиц сапропеля по эффективности было несколько ниже варианта с применением нанобиогумуса ультрадисперсных частиц (получено на 9,6% зерна больше с каждого гектара), но также превысило показатели в вариантах с нативными удобрениями.

В 2019 году предпосевная обработка семян ячменя сапропелем и биогумусом позволила повысить урожайность культуры на 12,0 и 11,5% к фону соответственно. Замачивание семян в сапропеле и биогумусе в ультрадисперсной форме стимулировало семена к более быстрому прорастанию и последующему развитию растений ячменя в течение вегетации. Урожайность в этих вариантах повысилась на 34,8 и 29,8% к фону соответственно. Лучший показатель, в отличие от результатов 2018 года с овсом, получен вариантов с применением наносапропеля.

Урожайность ячменя в 2020 году была несколько ниже, чем в 2019 году, но также отмечали положительное влияние на прибавку зерна изучаемых удобрений. Сапропель и биогумус в нативной форме способствовали получению более высокой прибавки урожая по сравнению с 2019 годом, а применение их в ультрадисперсной форме способствовало достоверному увеличению урожайности на 21,3 и 28,0% по сравнению с фоном.

Таким образом, во все годы исследований все изучаемые варианты с предпосевной обработкой семян сапропелем и биогумусом повлияли на увеличение урожайности овса и ячменя, но лучшее действие оказали ультрадисперсные формы. Измельчение изучаемых удобрений до частиц наноразмерного диапазона (до 120 нм) приводило к значительному увеличению их активной поверхности, повышало растворение в слабых кислотах почвенного раствора, способствовало улучшению усвоения комплекса питательных веществ растениями.

Одним из важных этапов исследований стал анализ влияния изучаемых обработок на качественные показатели зерна овса и ячменя (табл. 4, 5).

Предпосевная обработка семян (в зависимости от того, химический или биологический препарат применялся), использование регуляторов роста преследуют различные цели, но применение биопрепаратов, богатых гумусовыми веществами, набором макро- и микроэлементов, вместе с другими факторами – внесенными удобрениями, климатическими условиями – влия-

Таблица 3. Влияние предпосевной обработки семян на урожайность овса и ячменя, г/сосуд зерн. ед.
Table 3. Influence of pre-sowing seed treatment on the yield of oats and barley, g/vessel of grain units

Варианты	Средняя урожайность, г/сосуд зерн. ед.			Прибавка к фону, +/-%		
	овес	ячмень		овес	ячмень	
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
1. Фон N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,84	8,23	6,28	–	–	–
2. Фон + предпосевная обработка семян суспензией сапропеля в дозе 1,5 кг/т	6,04	9,22	7,22	+3,4	+12,0	+15,0
3. Фон + предпосевная обработка семян суспензией биогумуса в дозе 1,5 кг/т	6,16	9,18	7,60	+5,5	+11,5	+21,0
4. Фон + предпосевная обработка семян суспензией наносапропеля в дозе 1,5 кг/т	6,40	11,09	7,62	+9,6	+34,8	+21,3
5. Фон + предпосевная обработка семян суспензией нанобиогумуса в дозе 1,5 кг/т	6,88	10,68	8,04	+17,8	+29,8	+28,0
HCP ₀₅ , г/сосуд	0,62	2,11	1,58	–	–	–

Таблица 4. Химический состав зерна овса в зависимости от вариантов предпосевной обработки семян, %
Table 4. The chemical composition of oat grain depending on the options for pre-sowing seed treatment, %

Варианты	Зола	Азот	Фосфор	Калий
1. Фон N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,01	2,10	0,44	0,42
2. Фон + предпосевная обработка семян суспензией сапропеля в дозе 1,5 кг/т	3,07	2,13	0,45	0,44
3. Фон + предпосевная обработка семян суспензией биогумуса в дозе 1,5 кг/т	3,13	2,18	0,46	0,44
4. Фон + предпосевная обработка семян суспензией наносапропеля в дозе 1,5 кг/т	3,20	2,20	0,49	0,45
5. Фон + предпосевная обработка семян суспензией нанобиогумуса в дозе 1,5 кг/т	3,22	2,20	0,53	0,48
HCP ₀₅	0,19	0,31	0,08	0,8

ет не только на уровень урожайности, но и на показатели качества зерна.

Так, использование в опыте биогуруса и сапропеля без ультрадисперсной обработки повысило содержание золы в зерне овса на 2,0 и 4,0% по сравнению с фоном (табл. 4). Более существенное влияние на уровень зольности наблюдали при обработке семян ультрадисперсными суспензиями биогуруса и сапропеля. Содержание золы в этих вариантах возросло на 4,2 и 2,9% по сравнению с обработкой обычными сапропелем и биогурусом, а по сравнению с фоном достоверно увеличилось на 6,3 и 7,2% соответственно.

К азоту овес наиболее требователен в первый период роста и развития, к началу цветения он поглощает его до 60%. Высокое содержание азота в зерне овса отмечено в вариантах с обработкой семян наносуспензиями биогуруса и сапропеля, прирост к фону составил 4,8%. Относительно макросуспензий сапропеля и биогуруса прирост содержания элемента составил 3,3 и 1% соответственно.

Изучаемые приемы оказались более эффективным для накопления азота в зерне овса благодаря содержанию его в удобрении и максимальной проницательной способности наночастиц при обработке семян и во время вегетации.

Содержание фосфора и калия в зерне овса повышалось во всех вариантах с предпосевной обработкой, в наибольшей степени в варианте с применением ультрадисперсного биогуруса – соответственно на 20,5 и 14,3% больше, чем в варианте с фоном. При обработке семян суспензией сапропеля и биогуруса в обычной форме показатель по фосфору вырос на 4,5%, по калию – на 4,8%.

Фосфор и калий играют важную роль в физиологических процессах в семенах зерновых культур. Фосфор наряду с азотом входит в состав белковых соединений – нулеопротеидов, являющихся основной частью клеточного

ядра. Также он является неотъемлемой частью других органических и минеральных соединений в семенах [21].

Фосфор является незаменимым макроэлементом в организме человека. В зерновых, бобовых, семенах и орехах фосфор находится в форме фитиновой кислоты, доступность которой также может быть увеличена в результате температурной переработки растительного сырья [22].

Калий оказывает положительное влияние на процессы колошения и налива зерна. Он ускоряет передвижение углеводов из стеблей и листьев в зерно, снижает поражение болезнями, увеличивает крупность и полноту зерна [21].

При определении показателей химического состава зерна ячменя установили, что в опыте 2019 года во всех изучаемых вариантах происходило более значительное по сравнению с фоном накопление элементов, по которым оценивается качество зерна. Зольность повысилась на 7,1–16,1%, содержание азотистых веществ – на 22–27,7%, белка – на 16,4–18,3%, фосфора и калия – на 12,6 и 28,3% соответственно. Максимальное достоверное накопление всех элементов показал вариант с предпосевной обработкой семян суспензией ультрадисперсного биогуруса.

Отмечали также, что в вариантах с обработкой семян ультрадисперсными суспензиями некоторые качественные показатели зерна выше по сравнению с применением макроаналогов. Так, содержание азота было на 3,6% выше, чем в зерне, обработанном обычным биогурусом, а содержание фосфора – на 10,3%.

Повторная закладка опыта в 2020 году подтвердила основные результаты исследований с этими удобрениями. Как и в 2019 году, в варианте с обработкой семян ячменя суспензией ультрадисперсного биогуруса содержание золы и фосфора было максимальным среди всех изучаемых вариантов. Содержание азота в зерне

Таблица 5. Влияние предпосевной обработки семян ячменя на химический состав зерна ячменя, %
Table 5. Influence of pre-sowing treatment of barley seeds on the chemical composition of barley grain, %

Варианты	Зола	Азот	Белок	P ₂ O ₅	K ₂ O
2019 г.					
1. Фон N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,6	1,59	9,93	0,76	0,43
2. Фон + предпосевная обработка семян суспензией сапропеля в дозе 1,5 кг/т	2,84	2,04	12,75	0,78	0,55
3. Фон + предпосевная обработка семян суспензией биогуруса в дозе 1,5 кг/т	3,03	2,12	13,25	0,78	0,54
4. Фон + предпосевная обработка семян суспензией наносапропеля в дозе 1,5 кг/т	2,94	2,19	13,68	0,85	0,59
5. Фон + предпосевная обработка семян суспензией нанобиогуруса в дозе 1,5 кг/т	3,11	2,20	13,75	0,87	0,60
HCP ₀₅	0,39	0,41	0,92	0,13	0,18
2020 г.					
1. Фон N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,67	1,75	10,93	1,25	1,0
2. Фон + предпосевная обработка семян суспензией сапропеля в дозе 1,5 кг/т	2,69	1,85	11,56	1,38	1,05
3. Фон + предпосевная обработка семян суспензией биогуруса в дозе 1,5 кг/т	2,69	1,80	11,25	1,00	1,03
4. Фон + предпосевная обработка семян суспензией наносапропеля в дозе 1,5 кг/т	2,70	1,95	12,18	1,40	1,06
5. Фон + предпосевная обработка семян суспензией нанобиогуруса в дозе 1,5 кг/т	3,01	1,83	11,43	1,42	1,07
HCP ₀₅	0,21	0,19	0,38	0,27	0,2

варьировало от 1,75 до 1,95%, достигая наибольшего показателя в варианте с обработкой семян ультрадисперсным сапропелем. Содержание белка в зерне в разрезе изучаемых вариантов было на уровне 10,3–10,7%, то есть изменялось незначительно, а по сравнению с 2019 годом накопление было значительно ниже.

Достоверное повышение содержания P_2O_5 на 12% и 13,6% по сравнению с фоном наблюдали в вариантах с обработкой семян ультрадисперсными суспензиями сапропеля и биогумуса. Сапропель в обычной форме также показал хорошую эффективность, и показатель обеспеченности фосфором увеличился здесь на 10,4%.

Отмечали и увеличение содержания K_2O в зерне, хотя оно было не таким существенным, как в варианте

с фосфором. В разрезе вариантов показатель повысился на 3–7%, достигая максимального значения при обработке ультрадисперсным биогумусом.

Выводы / Conclusion

Таким образом, предпосевная обработка суспензиями сапропеля и биогумуса наряду с другими факторами оказывает положительный эффект на повышение урожайности овса и ячменя. Увеличение урожайности достигало 17,8% в опыте с овсом, 34,8% и 28% – в опытах с ячменем в 2019 и 2020 годах соответственно. Лучшее действие на прибавку зерна овса и ячменя оказало применение сапропеля и особенно биогумуса в ультрадисперсной форме.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Материалы подготовлены в рамках государственного задания № FMEG-2021-0003, регистрационный номер: 121021600147-1.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу.

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

FUNDING

The materials were prepared within the framework of the state assignment No. FMEG-2021-0003, registration number: 121021600147-1.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Guha T, Gopal G, Kundu R, Mukherjee. Nanocomposites for Delivering Agrochemicals: A Comprehensive Review. *A Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020; 68 (12): 3691–3702. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b06982.
- Qian Y, Qin C, Chen M, Lin S. Nanotechnology in soil remediation—applications vs. implications. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2020; 201: 110815. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110815>.
- Ефремова Ю.В. Продуктивность озимой пшеницы при обработке семян стимуляторами роста. *Аграрная Россия*. 2015; 5: 21–24.
- Кравец А.В., Бобровская Д.Л., Касимова Л.В., Зотикова А.П. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы гуминовым препаратом из торфа. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2011; 4(78): 22–24.
- Плечова О.И. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы биопрепаратами на основе diazotрофов. *Агрохимический вестник*. 2013; 3: 38–40.
- Рабинович Г.Ю., Смирнова Ю.Д. Эффективность применения биопрепаратов в растениеводстве. *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. 2017; 3(32): 25–30.
- Рябчинская Т.А., Харченко Г.Л., Саранцева Н.А., Бобрешова И.Ю., Злотников А.К. Полифункциональное действие препарата Альбит при предпосевной обработке семян яровой пшеницы. *Агрохимия*. 2009; 10: 39–47.
- Смирнова Ю.Д., Курилина С.Н. Влияние предпосевной обработки семян яровой пшеницы биопрепаратом ЖФБ на урожайность и биологические свойства почвы. В *сборнике: Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса. Коллективная монография*. Иваново, 2019; 49–52.
- Kah M, Tufenkji N, White JC. Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. *Nat. Nanotechnol.* 2019; 14: 532–540. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0439-5>.
- Usman M., Farooq M., Wakeel A., Nawaz A., Cheema S.A., Rehman H.U., Ashraf I., Sanaullah M. Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *The Science of the total environment*. 2020; 721: 137778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>.
- Hoang AS, Cong HH, Shukanov VP. et al. Evaluation of metal nanoparticles as growth promoters and fungi inhibitors for cereal crops. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2022; 9: 12. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00277-w>.
- Hoang S.A., Nguyen L.Q., Nguyen N.H. et al. Metal nanoparticles as effective promoters for Maize production. *Sci Rep.* 2019; 9: 13925. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50265-2>.
- Гаранович И., Титок В., Максимова С. Биогумус в питомниководстве. *Наука и инновации*. 2020; 5(207): 44–48.
- Ручин А.Б. Для чего нужен биогумус? *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2014; 4-1: 62–64.
- Хурнова А.М., Федосеев О.Н. Оптимизация использования биогумуса в экологическом огородничестве (на примере томатов). *Нива Поволжья*. 2019; 1 (50): 44–51.

REFERENCES

- Guha T, Gopal G, Kundu R, Mukherjee. Nanocomposites for Delivering Agrochemicals: A Comprehensive Review. *A Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020; 68 (12): 3691–3702. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b06982.
- Qian Y, Qin C, Chen M, Lin S. Nanotechnology in soil remediation—applications vs. implications. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2020; 201: 110815. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110815>.
- Efremova YU. V. Productivity of winter wheat when seeds are treated with growth stimulants. *Agrarian Russia*. 2015; 5: 21–24. (In Russian).
- Kravec A.V., Bobrovskaya D.L., Kasimova L.V., Zotikova A.P. Presowing treatment of spring wheat seeds with a humic preparation from peat. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2011; 4(78): 22–24. (In Russian).
- Plechova O.I. Presowing treatment of spring wheat seeds with biopreparations based on diazotrophs. *Agrochemical Bulletin*. 2013; 3: 38–40. (In Russian).
- Rabinovich G.YU., Smirnova YU.D. The effectiveness of the use of biological products in crop production. *Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex*. 2017; 3(32): 25–30. (In Russian).
- Ryabchinskaya T.A., Harchenko G.L., Saranceva N.A., Bobreshova I.YU., Zlotnikov A.K. Polyfunctional effect of Albit during pre-sowing treatment of spring wheat seeds. *Agrochemistry*. 2009; 10: 39–47. (In Russian).
- Smirnova YU. D., Kurilina S. N. Influence of pre-sowing treatment of spring wheat seeds with a biological product of ZhFB on the yield and biological properties of the soil. In *the collection: Current trends in scientific support of the agro-industrial complex. Collective monograph*. Ivanovo, 2019; 49–52. (In Russian).
- Kah M, Tufenkji N, White JC. Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. *Nat. Nanotechnol.* 2019; 14: 532–540. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0439-5>.
- Usman M., Farooq M., Wakeel A., Nawaz A., Cheema S.A., Rehman H.U., Ashraf I., Sanaullah M. Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *The Science of the total environment*. 2020; 721: 137778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>.
- Hoang AS, Cong HH, Shukanov VP. et al. Evaluation of metal nanoparticles as growth promoters and fungi inhibitors for cereal crops. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2022; 9: 12. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00277-w>.
- Hoang S.A., Nguyen L.Q., Nguyen N.H. et al. Metal nanoparticles as effective promoters for Maize production. *Sci Rep.* 2019; 9: 13925. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50265-2>.
- Garanovich I., Titok V., Maksimova S. Biohumus in nursery. *Science and innovation*. 2020; 5(207): 44–48. (In Russian).
- Ruchin A.B. What is biohumus for? *Actual problems of the humanities and natural sciences*. 2014; 4-1: 62–64. (In Russian).
- Humnova A.M., Fedoseev O.N. Optimization of the use of vermicompost in ecological gardening (on the example of tomatoes). *Niva of the Volga region*. 2019; 1 (50): 44–51. (In Russ.).

16. Voko M.P., Kulkarni M.G., Finnie J.F., J. Van Staden. Seed priming with vermicompost leachate, *Ecklonia maxima* extract-Kelpak and smoke-water induce heat stress amelioration and growth in *Vigna unguiculata* L. seedlings. *South African Journal of Botany*. 2022; 147: 686–696. ISSN 0254-6299. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.02.025>.

17. Валов, В.В. Перспективы добычи и использование сапропелей в Республике Бурятия. *Устойчивое развитие науки и образования*. 2020; 7(46): 21–25.

18. Васильев О. А. Эффективность использования сапропеля в качестве удобрения картофеля. *Лучшая исследовательская статья 2020: сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 20 декабря 2020 года. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука»*. 2020; 47–59.

19. Морозов В.В., Савельева Л.Н. Использование сапропеля для органического земледелия в условиях Псковской области. *Научное обеспечение инновационного развития АПК: материалы международной научно-практической конференции, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. Великие Луки: 2020; С. 214–222.*

20. Shahryari R, Mollasadeghi V. Increasing of wheat grain yield by use of a humic fertilizer. *Advances in Environmental Biology*. 2011; 5: 516–518. ISSN 1995-075.

21. Клименко, Н. Н., Абрамова И. Н., Кузнецова Е. Н. Влияние минеральных удобрений на показатели качества зерна яровой пшеницы в условиях Иркутского района. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*. 2019; 1(54): 36–43.

22. Sormunen-Cristian R. Effect of barley and oats on feedintake, live weight gain and some carcass characteristics of fattening lambs *Small Ruminant Research*. 2013;109: 22–27.

16. Voko M.P., Kulkarni M.G., Finnie J.F., J. Van Staden. Seed priming with vermicompost leachate, *Ecklonia maxima* extract-Kelpak and smoke-water induce heat stress amelioration and growth in *Vigna unguiculata* L. seedlings. *South African Journal of Botany*. 2022; 147: 686–696. ISSN 0254-6299. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.02.025>.

17. Valov, V.V. Prospects for the extraction and use of sapropels in the Republic of Buryatia. *Sustainable development of science and education*. 2020; 7(46): 21–25. (In Russian).

18. Vasil'ev, O.A. Efficiency of using sapropel as a potato fertilizer. *Best research article 2020: collection of articles of the III International Research Competition, Petrozavodsk, December 20, 2020. – Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership «New Science»*. 2020; 47–59. (In Russian).

19. Morozov V.V., Savel'eva L.N. The use of sapropel for organic farming in the conditions of the Pskov region. *Scientific support for the innovative development of the agro-industrial complex: materials of the international scientific-practical conference, Velikolukskaya State Agricultural Academy. – Velikiye Luki: 2020; P. 214–222. (In Russian).*

20. Shahryari R, Mollasadeghi V. Increasing of wheat grain yield by use of a humic fertilizer. *Advances in Environmental Biology*. 2011; 5: 516–518. ISSN 1995-075.

21. Klimenko, N.N., Abramova I.N., Kuznetsova E.N. Influence of mineral fertilizers on the quality indicators of spring wheat grain in the conditions of the Irkutsk region. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy. V.R. Filippova*. 2019; 1(54): 36–43. (In Russian).

22. Sormunen-Cristian R. Effect of barley and oats on feedintake, live weight gain and some carcass characteristics of fattening lambs / R. Sormunen-Cristian. *Small Ruminant Research*. 2013;109: 22–27.

ОБ АВТОРАХ:

Расим Рашидович Газизов, кандидат сельскохозяйственных наук, Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения — обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, ул. Оренбургский тракт 20а, г. Казань, 420059, Российская Федерация
E-mail: rasim_0410@mail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9922-9037>

Елена Александровна Прищепенко, кандидат сельскохозяйственных наук, Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения — обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, ул. Оренбургский тракт 20а, г. Казань, 420059, Российская Федерация
E-mail: pea77@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9068-3014>

Гульнара Фанисовна Рахманова, кандидат сельскохозяйственных наук, Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения — обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, ул. Оренбургский тракт 20а, г. Казань, 420059, Российская Федерация
E-mail: gulnara_rakhmanova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0261-3049>

Руфина Ринатовна Маснавиева, младший научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения — обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, ул. Оренбургский тракт 20а, г. Казань, 420059, Российская Федерация
E-mail: rufina.masnavieva.63@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8267-2016>

ABOUT THE AUTHORS:

Rasim Rashidovich Gazizov, Candidate of Agricultural Sciences, Tatar Research Institute of Agrochemistry and Soil Science – a separate structural subdivision of the Federal Research Center of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan. 20a st. Orenburg tract, Kazan, 420059, Russian Federation
E-mail: rasim_0410@mail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9922-9037>

Elena Alexandrovna Prishchepenko, Candidate of Agricultural Sciences, Tatar Research Institute of Agrochemistry and Soil Science – a separate structural subdivision of the Federal Research Center of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan. 20a st. Orenburg tract, Kazan, 420059, Russian Federation
E-mail: pea77@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9068-3014>

Gulnara Fanisovna Rakhmanova, Candidate of Agricultural Sciences, Tatar Research Institute of Agrochemistry and Soil Science – a separate structural subdivision of the Federal Research Center of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan. 20a st. Orenburg tract, Kazan, 420059, Russian Federation
E-mail: gulnara_rakhmanova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0261-3049>

Rufina Rinatovna Masnavieva, junior Researcher, Tatar Research Institute of Agrochemistry and Soil Science – a separate structural subdivision of the Federal Research Center of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan. 20a st. Orenburg tract, Kazan, 420059, Russian Federation
E-mail: rufina.masnavieva.63@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8267-2016>