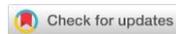


УДК 633.11:631.8

DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-139-171



Ссылки для цитирования:

Волкова Е.С., Шайкова Т.В., Дятлова М.В. Эффективность азотных удобрений и биопрепаратов под озимую рожь на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. Вып. 119. С. 139-171. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-139-171

Cite this article as:

Volkova E.S., Shaykova T.V., Dyatlova M.V., Efficiency of nitrogen fertilizers and biological preparations for winter rye on soddy-podzolic soil of different cultivation status, Dokuchaev Soil Bulletin, 2024, V. 119, pp. 139-171, DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-139-171

Благодарность:

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФНБНУ “Федеральный научный центр лубяных культур” (тема № FGSS-2019-0010).

Acknowledgments:

The studies were carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State Assignment of FNBNU “Federal Scientific Centre of Bast Fiber Crops” (theme No. FGSS-2019-0010).

Эффективность азотных удобрений и биопрепаратов под озимую рожь на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности

© 2024 г. Е. С. Волкова*, Т. В. Шайкова**, М. В. Дятлова***

*ФГБНУ “Федеральный научный центр лубяных культур”, Россия,
170041, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56,*

*<https://orcid.org/0000-0002-1762-0957>, e-mail: e.volkova.psk@fncl.ru,

**<https://orcid.org/0000-0001-7309-5328>, e-mail: t.shaykova.psk@fncl.ru,

***<https://orcid.org/0000-0003-4651-1263>, e-mail: m.dyatlova.psk@fncl.ru.

*Поступила в редакцию 23.06.2023, после доработки 05.12.2023,
принята к публикации 04.06.2024*

Резюме: Изучали влияние окультуренности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на агрономическую эффективность минеральных удобрений с различными дозами азота, а также биопрепаратов, применяемых на минеральном фоне, в Псковской области. На освоенной почве и почве средней окультуренности установлена прямолинейная зависимость урожайности зерна от доз азота. Повышение доз азота с 20 до 80 кг д. в./га сопровождалось получением дополнительного урожая различной величины относительно контрольного варианта в зависимости от рН почвы: с 6% до 42% – на почве с рН 5.6; с 8% до 73% – на почве с рН 5.3; с 32% до 69% – на почве с рН 5.2; с 66% до 175% – на почве с рН 4.8. Окупаемость удобрений возрастала с повышением дозы азота. Свойства почвы также оказывали на нее влияние. Максимальная окупаемость (12 кг зерна за 1 кг NPK) установлена при внесении $N_{80}P_{40}K_{70}$ с дробным внесением азота в почву при рН 4.8. Применение биопрепаратов способствовало получению прибавок зерна дополнительно к минеральному фону ($N_{20}P_{40}K_{70} + N_{20}$): при внесении микробиологического препарата Бисолбифит – 8%; при проведении листовых подкормок биопрепаратами – 4–9%. На высокоокультуренной почве зависимость урожайности от доз внесенного азота в диапазоне от 20 до 80 кг д. в./га имела вид полинома с максимумом урожайности в разные годы при внесении 40 и 60 кг д.в./га. Увеличение доз азота с 20 до 40 кг действующего вещества (д. в./га) сопровождалось в 2019 г. повышением урожая зерна с 11 до 23%. Повышение доз азота с 20 до 60 кг в последующие два года увеличивало урожай зерна с 20% до 65% соответственно. Окупаемость удобрений при внесении максимально эффективных доз азота составляла в 2019 г. – 5 кг, в 2020 г. – 7 кг и в 2021 г. – 10 кг зерна на 1 кг NPK. На высокоокультуренной почве под действием листовых подкормок биопрепаратами Кодамин В-Мо и К-Гумат-На дополнительно к минеральному фону не было отмечено значительного увеличения урожайности (3–3.5%).

Ключевые слова: урожайность; удобрения; эффективность; окупаемость; Бисолбифит; листовые подкормки; степень окультуренности почвы.

Efficiency of nitrogen fertilizers and biological preparations for winter rye on soddy-podzolic soil of different cultivation status

© 2024 E. S. Volkova*, T. V. Shaykova**, M. V. Dyatlova***

*Federal Research Center for Bast Fiber Crops,
17/56 Komsomolsky Ave., Tver 170041, Russian Federation,*

*<https://orcid.org/0000-0002-1762-0957>, e-mail: e.volkova.psk@fncl.k.ru,

**<https://orcid.org/0000-0001-7309-5328>, e-mail: t.shaykova.psk@fncl.k.ru,

***<https://orcid.org/0000-0003-4651-1263>, e-mail: m.dyatlova.psk@fncl.k.ru.

Received 23.06.2023, Revised 05.12.2023, Accepted 04.06.2024

Abstract: There was studied the influence of soddy-podzolic light loamy soil of different cultivation status on the agronomic efficiency of mineral fertilizers application with varying doses of nitrogen and biological preparations applied against the mineral background, in Pskov region. On moderately cultivated soil the linear dependence of grain yield on nitrogen rates was established. An increase in nitrogen doses from 20 to 80 kg a. i./ha resulted in obtaining an additional yield compared to the control variant, which is dependent on soil pH: yield growth by 6% to 42% was recorded on soil with pH of 5.6; from 8% to 73% – on soil with pH of 5.3; from 32% to 69% – on soil with pH of 5.2; from 66% to 175% – on soil with pH of 4.8. Payback from applied fertilizers rose with increasing doses of nitrogen. Soil properties also influenced the payback value. The maximum payback, 12 kg of grain per 1 kg of NPK, was recorded when $N_{80}P_{40}K_{70}$ with split nitrogen fertilizing was applied to the soil with pH = 4.8. The introduction of biological products to the variant with mineral fertilizers ($N_{20}P_{40}K_{70} + N_{20}$) contributed to an increase in grain yield : the introduction of microbiological preparation Bisolbifitis provided additional 7.6%; spraying of foliar fertilizers – 3.7%–8.8%. On the soil with long-term cultivation status the dependence of yield on the doses of applied nitrogen in the range from 20 to 80 kg a. i./ha looked like a polynomial. Maximum yield was obtained in different years when nitrogen was applied at rates from 40 and 60 kg a. i./ha. An increase in the dose of nitrogen from 20 to 40 kg was accompanied in 2019 by an increase in the yield of grain from 11.2% to 22.6%. An increase in nitrogen rates from 20 to 60 kg in 2020 and 2021 resulted in the growth of grain yield from 20% to 65%. Respectively. When the most effective doses of nitrogen were applied the payback from fertilizers was 5 kg of grain per 1 kg of NPK in 2019; 7 kg of grain per 1 kg of NPK in 2020; and 10 kg of grain per 1 kg of NPK in 2021. On the soil cultivated and improved for a long-term the effect of foliar fertilizers with biological preparations Kodamine B-Mo and K-Humate-Na was less significant (3–3.5%).

Keywords: crop capacity; fertilizers; efficiency; payback; Bisolbifit; foliar fertilizers; degree of soil cultivation.

ВВЕДЕНИЕ

Почва обладает существенным качественным свойством – плодородием и вследствие этого является в сельском хозяйстве основным средством производства. Плодородие – способность почвы обеспечивать растения элементами питания, водой, благоприятной физико-химической средой для нормального роста и развития – возникло в результате природных почвообразовательных процессов как совокупность биосферных функций (Кирюшин, 2021). В ходе сельскохозяйственного использования, под направленным воздействием антропогенных факторов, таких как обработка почвы, применение средств химизации, севооборот, развивается культурный почвообразовательный процесс. Культурное почвообразование в свою очередь обеспечивает свойства и режимы, обуславливающие определенные уровни плодородия почвы и продуктивности растений. По степени развития культурного почвообразовательного процесса дерново-подзолистые почвы на суглинистых и глинистых почвообразующих породах подразделяют на освоенные (слабоокультуренные), окультуренные (среднеокультуренные) и культурные (высокоокультуренные); дерново-подзолистые почвы на песках и супесях – на освоенные и окультуренные. К числу показателей для оценки степени окультуренности почвы относят: мощность пахотного горизонта, содержание гумуса, показатели питательного и кислотнo-щелочного режимов, насыщенности основаниями, нитратообразующей способности (Кирюшин, Кирюшин, 2015).

В Нечерноземной зоне одним из основных факторов, оказывающих влияние на окультуренность и продуктивность сельскохозяйственных земель, является применение удобрений. Систематическое внесение средств химизации в годы интенсивного развития сельского хозяйства способствовало значительному повышению плодородия: снизилась доля кислых почв, увеличилось содержание подвижных соединений фосфора и калия. Благодаря достигнутым показателям, нормативная урожайность зерновых без внесения удобрений в 1996 г. составляла 22.7 ц/га (Сычев, Шафран, 2019). Как показали дальнейшие исследования, продуктивность хорошо окультуренных почв оставалась на высоком уровне дли-

тельное время и при систематическом применении удобрений сохранялась (Мерзлая, Афанасьев, 2019). Комплексное агрохимическое окультуривание полей, проводимое в Псковской области, способствовало увеличению сельскохозяйственных земель с хорошими показателями плодородия почвы: из 300 тыс. га обследуемой площади в настоящее время 40% занимают земли с высоким содержанием подвижного фосфора (более 150 мг/кг); среднее содержание имеют 26%; выше среднего – 17% сельскохозяйственных угодий. Повышенное и высокое содержание подвижного калия установлено на 15 и 12% обследованных земель соответственно. Средневзвешенный показатель содержания гумуса составляет 2.3%. В регионе преобладают слабо- и среднеокультуренные почвы, но имеются и угодья с высокой степенью окультуренности, использовавшиеся ранее под кормовые и овощные севообороты (Шайкова и др., 2019). Имеются данные о влиянии степени окультуренности на азотный режим почвы (Никитишен, 2008). Слабоокультуренные почвы обладают меньшими запасами общего азота и низкой нитратообразующей способностью. На окультуренных почвах, с реакцией среды близкой к нейтральной, нитратообразующая способность существенно возрастает (Волкова, 2019).

Северо-Западный регион характеризуется умеренно холодным климатом с избыточным количеством осадков. Территория относится к так называемой “зоне рискованного земледелия”, для которой характерны резкие и частые изменения климатических условий, приводящие к значительным колебаниям урожайности и валовых сборов зерновых культур. Поэтому озимая рожь занимает в зерновом хозяйстве Северо-Запада особое место. Данная культура отличается повышенной засухо- и зимостойкостью, устойчивостью к кислотности почвы, способностью формировать стабильный урожай в неблагоприятные по метеоусловиям годы, что длительное время обеспечивало успешное ее выращивание (Сысуев и др., 2015). Зерно озимой ржи используется для пищевых, кормовых и технических целей. Причиной, ограничивающей его использование на кормовые цели, было повышенное содержание высокомолекулярных водорастворимых арабиноксиланов (ВАК), снижающих питательные свойства корма. В настоящее время выведены новые сорта озимой ржи универсального использования с по-

ниженным содержанием ВАК (Кобьялянский, 2014). С одним из таких инновационных сортов – “Новая Эра” – на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве различной степени окультуренности проводятся исследования по изучению эффективности азотных удобрений и биопрепаратов.

Вследствие гидротермических условий и слабо-, и хорошо-окультуренные дерново-подзолистые почвы в начале весенней вегетации озимых имеют очень низкое содержание нитратного азота, о чем свидетельствуют результаты ранневесенней диагностики азотного питания. Низкое содержание нитратного азота в почве можно объяснить слабой биологической активностью почвы. В литературе имеются данные о тесной зависимости между биологической активностью почвы и содержанием нитратов в ней на протяжении вегетационного периода (Новиков, 2020).

Традиционная система удобрений под озимую рожь предусматривает дробное внесение азотных удобрений на фоне основного фосфорно-калийного с обязательной ранневесенней подкормкой азотом. Однако избыточное питание азотом приводит к полеганию растений. В поисках решения этой проблемы проводятся исследования влияния комплексных биопрепаратов, которые содержат корректирующие дозы макро и микроэлементов, на урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Наиболее распространенным способом применения является внесение их в виде листовых подкормок (Fernandez et al., 2013), (Осипов, Шкрабак, 2019). Одним из способов применения микробиологических препаратов (МБП) является их внесение в качестве модификаторов минеральных удобрений. Биопрепараты способствуют увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, повышают эффективность удобрений, снижают потери питательных веществ (Суров, 2017; Чеботарь, 2014; Marenychatal., 2019). В настоящей работе изучено влияние полного минерального удобрения с разными дозами азота, а также биопрепаратов, вносимых на фоне пониженных доз азотных удобрений на урожайность зерна озимой ржи и на окупаемость действующего вещества удобрений в зависимости от окультуренности почвы.

Исследуемые биопрепараты: Гумат калия-натрия, Кодамин В-Мо, Агрофлорин и Ауксинолен, Бисолбифит.

Гумат калия-натрия произведен на основе гуминовых кислот. Содержание азота – 3.5%, фосфора и калия в органической форме – 0.5% и 2.5%. Удобрение содержит микроэлементы Mg (0.1%), B (0.1%), Co (0.01%), Cu (0.05%), Fe (0.12%), Mn (0.1%), Mo (0.025%), Zn (0.12%) в форме комплексных органо-минеральных соединений, гуминовые (7%) и карбоновые (глюконовую, лимонную, янтарную, молочную – в сумме 0.6%) кислоты, которые являются хелатирующими агентами, аминокислоты (2.4%) (<http://www.silazhizni.ru/>).

Кодамин В-Мо – комплексное удобрение, содержит 6.4% азота, 6.5% бора, 0.22% молибдена и 12.48% свободных аминокислот (<https://sevzapagro.ru/>).

Агрофлорин содержит ферменты, аминокислоты, 10.9 г/л органических кислот (фумаровую, янтарную, щавелево-уксусную, уксусную), витамины группы В, фолиевую и никотиновую кислоты, 26 макро- и микроэлементов (<http://агрофлорин.рф/>). В состав Ауксинолена входят фитогормоны (ауксины, глифосин, гибберелловая кислота, цитокинины), ферменты, аминокислоты, а также макро и микроэлементы, витамины группы В, фолиевая и никотиновая кислоты (<http://vsevsnab.ru/>).

Некорневые подкормки жидкими комплексными удобрениями, исследованиям эффективности которых в настоящее время уделяется большое внимание, обеспечивают непосредственно органы и ткани растений необходимыми элементами питания. Это обстоятельство дает возможность избежать потерь питательных веществ в результате отрицательного влияния почвенных факторов, таких как выщелачивание, прочное закрепление в почвенном поглощающем комплексе и перевод в труднодоступные для питания растений соединения (Битюцкий, 2011).

Бисолбифит – микробный препарат, созданный во ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, активным биоагентом которого является штамм бактерий *Bacillus subtilis* Ч-13 и его метаболиты, с титром живых клеток не менее 100 млн КОЕ/г препарата. Препарат обладает хорошей сыпучестью и адгезией и предназначен для биологической модификации минеральных удобрений. Норма расхода модификатора составляет 4–5 кг/т минеральных удобрений. В результате нанесения бактерий на поверхность гра-

нул удобрений образуется “биокапсула”, которая одновременно может выполнять сразу несколько функций: удобрительную, защитную и стимулирующую (<http://bisolbiplus.ru>; Завалин и др., 2015). Бактерии за счет колонизации корней и продуцирования фитогормонов улучшают развитие корневых волосков и их поглонительную способность, в результате чего повышается эффективность минерального питания растений.

Изучение эффективности азотных удобрений и биопрепаратов под озимую рожь, в зависимости от степени окультуренности почвы, позволит при планировании урожайности не только восполнять вынос азота, фосфора и калия из почвы, но и экономить материальные ресурсы для получения максимального экономического эффекта от внесенных удобрений (Кирюшин, Кирюшин, 2015; Чухина и др., 2019). Для оценки эффективности принято рассчитывать окупаемость действующего вещества вносимых удобрений единицей сельскохозяйственной продукции. В ходе проведения Географической сети опытов с удобрениями установлено, что в условиях Нечерноземной зоны окупаемость минеральных удобрений на посевах зерновых изменялась от 5.6 кг зерна на 1 кг NPK при недостаточном увлажнении и избытке тепла до 10.4 кг зерна на 1 кг NPK при оптимальном уровне климатических факторов (Сычев, Ефремов, 2018; Сычев и др., 2018). Соблюдение доз, сроков, способов внесения агрохимикатов, сбалансированное питание макро- и микроэлементами, соблюдение агротехнических требований, позволяет повысить окупаемость NPK прибавкой урожая, преодолевая предел рентабельности в 2–3 раза (Методическое руководство по проектированию..., 2008).

Цель проведенных исследований – на основании полученных данных установить эффективность азотных удобрений и биопрепаратов в зависимости от окультуренности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы для разработки ресурсосберегающей технологии возделывания инновационной озимой ржи универсального назначения с низким содержанием водорастворимых арабиноксиланов (ВАК).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Научно-исследовательская работа проводилась в 2019–2022

гг. на полях лаборатории агротехнологий ФГБНУ “Федеральный центр лубяных культур” обособленного подразделения Псковский НИИСХ в соответствии с методическими указаниями “Методика полевого опыта”, с использованием современных методов исследований почв и растений (Доспехов, 1985).

Почва опытных участков – дерново-подзолистая легкосуглинистая. Исходная агрохимическая характеристика почвы приведена в таблице 1.

Агрохимическое обследование почвы опытных участков показало, что в пределах территории опытного поля обособленного подразделения Псковского НИИСХ имеются участки, различающиеся по степени кислотности, составу почвенного поглощающего комплекса, содержанию гумуса, нитратообразующей способности. Группировку почвенных участков по степени окультуренности провели согласно классификации дерново-подзолистых почв, развитых на глинистых и суглинистых почвообразующих породах.

Схема опыта включала следующие варианты: 0 – контроль без удобрений; $N_{20}P_{40}K_{70}$; $N_{40}P_{40}K_{70}$; $N_{20}P_{40}K_{70} + N_{20}$ (весной в фазу кущения); $N_{20}P_{40}K_{70} + N_{40}$ (весной в фазу кущения) – фон для биопрепаратов; $N_{20}P_{40}K_{70} + N_{40}$ (весной в фазу кущения) + N_{20} (в фазу выхода в трубку); фон + Агрофлорин и Ауксинолен (дважды: в фазы кущения и выхода в трубку); фон + Кодамин В-Мо (дважды: в фазы кущения и выхода в трубку); фон + К-Гумат-На (дважды: в фазы кущения и выхода в трубку); фон + Бисолбифит. Опыт заложен в 4-кратной повторности. Общая площадь делянки – 37.5 м², учетная площадь – 30 м², повторность 4-кратная.

Объекты исследования: озимая рожь сорта “Новая Эра”, дозы азотных удобрений, биопрепараты, участки дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы разной степени окультуренности.

Агротехнические приемы и сроки проведения исследований – общепринятые для зоны возделывания озимой ржи. Минеральные удобрения внесены под предпосевную культивацию в виде азофоски, суперфосфата и калия хлористого в качестве основного удобрения. Подкормки аммиачной селитрой и листовые подкормки биопрепаратами проведены в соответствии со схемой опыта.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почвы опытных участков
Table 1. Agrochemical characteristics of the soil of experimental plots

Почва	Год	рН	Нг	S	P ₂ O ₅	K ₂ O	Гумус, %	NO ₃ ⁻ накопление, мг/кг	Степень насыщенности основаниями, %
			мг-экв/100 г		мг/кг				
(ВО) высоко- окультуренная	*	5.5– 6.5	1.5– 2.0		250– 300	220– 250	3.0–5.0	40–50	>80.0
	2019	6.2	1.8	12.1	>350	133		43.0	87.1
	2020	6.2	1.7	11.4	300	237	3.2	45.0	87.0
	2021	6.1	1.8	14.0	>350	200	2.8	47.4	88.6
(СО) средне- окультуренная	*	5.0– 5.5	3.0– 5.0		100– 250	100– 220	2.0–3.5	30–40	60–80
	2019	5.6	3.3	4.9	260	179		34.0	59.8
	2020	5.3	3.6	5.3	220	167	2.1	31.0	59.6
	2021	5.2	3.5	5.0	300	200	2.2	29.1	58.8
(Ос) освоенная	*	4.3– 4.7	>5.0		30– 100	100– 200	1.5–2.5	20–30	30–60
	2022	4.8	5.7	3.5	220	180	2.0	9.0	38.0

Примечание. * – группировка дерново-подзолистых почв по агрохимическим показателям, согласно классификации по степени окультуренности (Кирюшин, 2015).

Note. * – grouping of sod-podzolic soils by agrochemical indicators, according to the classification by cultivation status (Kiryushin, 2015).

Бисолбифит внесен в почву перед посевом с минеральными удобрениями из расчета 4 кг порошка на 1 т удобрений.

Аналитические работы выполнены в лаборатории агротехнологий ФГБНУ ФНЦ ЛК ОП Псковский НИИСХ в соответствии с ГОСТ 26483-85, ГОСТ Р 54650-2011, ГОСТ 26212-2021, ГОСТ 27821-2020. Математическую обработку полученных данных проводили дисперсионным методом по Б.А. Доспехову.

Величина затрат минеральных удобрений с разными дозами азота для формирования 1 т зерна рассчитана по формуле:

$$З = Д / У + П,$$

где З – затраты минеральных удобрений с разными дозами азота для формирования 1 т урожая, кг/т; Д – доза удобрения, кг/га; У – урожайность без внесения удобрений, т/га; П – прибавка урожая от удобрений, ц/га (Шафран, 2022).

Гидротермические условия НИР, представленные на рисунке 1, имели свои особенности. Температурный режим осенних периодов вегетации в целом был благоприятным и существенно не отличался от средних многолетних данных. Выпадение осадков обеспечивало озимой ржи достаточные запасы влаги. Температурный режим в осенний период был несколько выше многолетних показателей. В ноябре положительные температуры днем и небольшие заморозки ночью способствовали закалке растений.

Зимние периоды имели резкие различия по годам исследований. К началу декабря во все годы наблюдений, за исключением 2019, отмечен устойчивый переход от положительных температур к отрицательным, что соответствовало окончанию осенней вегетации растений. В декабре 2018 г. выпало 77% осадков от нормы. Снежный покров установился только в январе 2019 г., что предотвратило вымерзание растений в конце января, когда были отмечены морозы до -21.6°C . Февраль характеризовался теплой погодой с температурами воздуха существенно выше средних многолетних значений.

Зиму 2019–2020 гг. можно охарактеризовать как аномально теплую, нетипичную для Псковской области. В декабре–январе наблюдались положительные температуры, в отдельные ночи были небольшие заморозки.

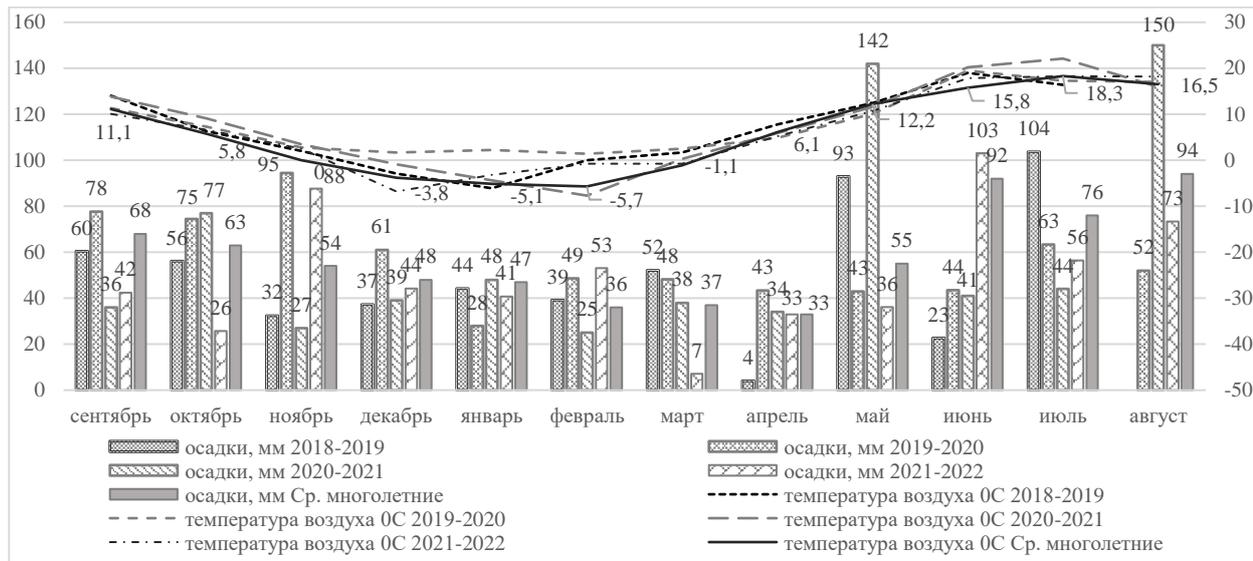


Рис. 1. Гидротермические условия проведения исследований.
Fig. 1. Hydrothermal conditions for research.

Климатическая зима наступила в III декаде февраля: отрицательные температуры воздуха и снежный покров установились 27 февраля. Зимний период 2020–2021 гг. не имел особенностей, в отличие от зимы 2021–2022 гг., которая отличалась рано установившимися отрицательными температурами и снежным покровом, а также многочисленными оттепелями во второй половине зимы, способствующими образованию ледяной корки и вымоканию растений.

Различия по температуре воздуха и количеству осадков весной на начало вегетации растений существенного влияния не оказывали. Начало вегетации озимой ржи все годы отмечалось в III декаде апреля. Майские месяцы в 2019 и 2021 гг. характеризовались избыточным количеством осадков, в 2–3 раза превышающим многолетние показатели.

Летние периоды по температуре воздуха в июне превосходили многолетние показатели. Сумма осадков в 2019, 2020 и 2021 гг. составляла 25% и 50% от нормы, гидротермические коэффициенты (ГТК) были равны 0,4, 0,74, 0,68 и 1,92, что характеризовало июнь этих лет, как засушливый. Июль был прохладнее, за исключением 2020 г. В июле ГТК 0,64 был установлен в 2021 г.

Суммы температур воздуха выше 10 °С за вегетационный период озимой ржи, включая осень, по годам составили 2 376, 2 138, 2 536 и 2 196 °С соответственно.

Погодные условия оказывали определенное влияние на урожайность. В то же время, выявлены закономерности в развитии растений при внесении минеральных удобрений и биопрепаратов на протяжении четырех лет исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние различных доз азотных удобрений на урожайность зерна озимой ржи, в зависимости от степени окультуренности почвы, отражено на рисунке 2.

Степень окультуренности почвы оказывала существенное влияние на урожайность зерна озимой ржи, что согласуется с литературными данными (Савич и др., 2021; Савин и др., 2022).

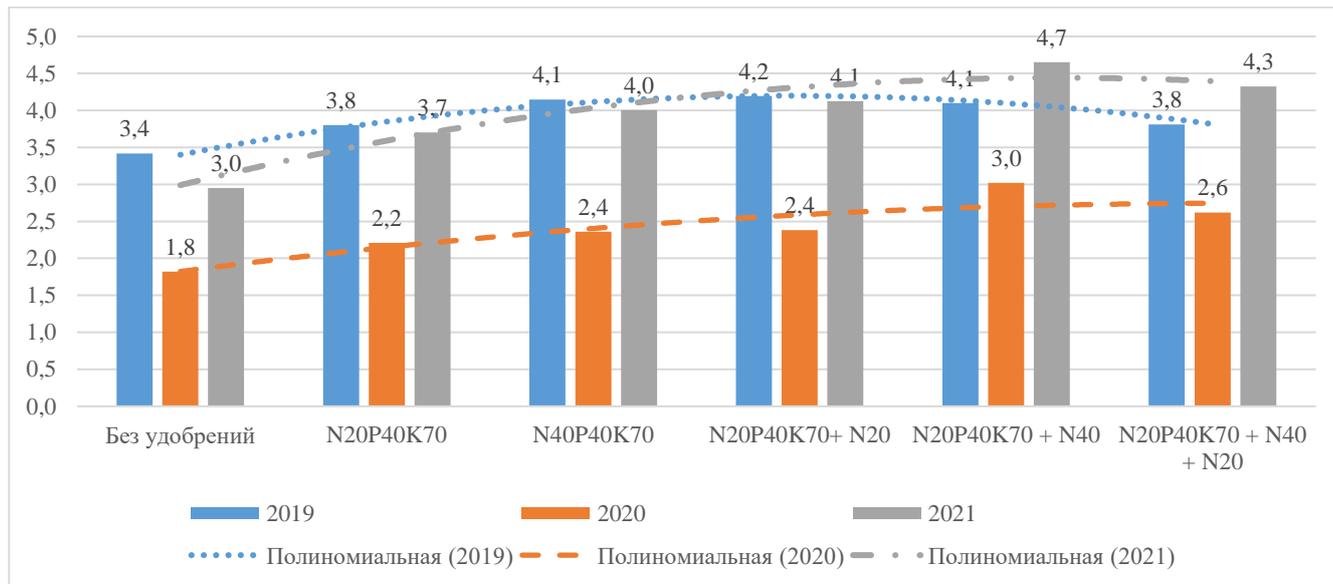


Рис. 2. Влияние различных доз азотных удобрений на урожайность зерна озимой ржи на дерново-подзолистой почве высокой степени окультуренности, т/га.

Fig. 2. Influence of various doses of nitrogen fertilizers on the yield of winter rye grain on soddy-podzolic soil with long-term cultivation status, t/ha.

Снижение агрохимических показателей (увеличение кислотности почвы, снижение степени насыщенности основаниями, уменьшение нитратообразующей способности и гумуса) приводило к снижению урожайности зерна контрольного варианта, в среднем за три года исследований, на 0.5 т/га на среднеокультуренной почве и на 1.4 т/га на освоенной.

На высокоокультуренной дерново-подзолистой почве урожайность в контроле составляла 3.4 и 3.0 т/га в 2019 и 2021 гг. соответственно. В 2020 г. получено существенно меньше зерна, что можно объяснить стрессовыми условиями в период аномально теплой зимы. Максимальная урожайность в 2019 г. (4.2 т/га) установлена при внесении $N_{20}P_{40}K_{70}$ в основное удобрение и N_{20} в ранневесеннюю подкормку; в 2020 и 2021 гг. наибольшая урожайность получена при дробном внесении 60 кг д. в. азота на гектар: 20 кг – в основное удобрение осенью и 40 кг – в ранневесеннюю подкормку. Дальнейшее повышение доз азота сопровождалось снижением урожайности зерна – наблюдался “закон убывающей отдачи” при внесении 80 кг д. в. азота.

Зависимость урожайности зерна озимой ржи от доз азота, представленная в таблице 2, подчиняется уравнениям полинома с высокой величиной достоверности аппроксимации.

Таблица 2. Уравнения полиномиальной зависимости урожайности зерна озимой ржи от доз азотных удобрений на почве высокой степени окультуренности

Table 2. Equations of the polynomial dependence of the yield of winter rye grain from the doses of nitrogen fertilizers on soil with a high degree of cultivation

Год	Уравнение	Величина достоверности аппроксимации
2019	$Y = -0.0913X^2 + 0.7219X + 1.7699$	0.9921
2020	$Y = -0.0355X^2 + 0.433X + 1.425$	0.7946
2021	$Y = -0.0801X^2 + 0.8416X + 2.2289$	0.9401

Результаты проведенного дисперсионного анализа данных эффективности азотных удобрений под озимую рожь на высокоокультуренной почве, приведенные в таблице 3, показали, что влияние различных доз азота (фактора А) и влияние почвенно-климатических условий (фактора В) были существенны.

Изменение урожайности под влиянием азотных удобрений под озимую рожь на участках освоенной почвы и почвы средней степени окультуренности показано на рисунке 3. Установлена прямолинейная зависимость урожайности озимой ржи от доз азота. Благоприятные климатические условия 2019 г. способствовали получению хорошего урожая зерна. Высокой была и отзывчивость культуры на азотные удобрения. Аномально теплая зима в 2020 г. привела к истощению растений и отразилась на урожайности. Самая низкая урожайность зерна без внесения удобрений установлена в 2022 г. на освоенной почве с рН 4.7–4.9 и низкой нитратообразующей способностью, что послужило основанием для высокой отзывчивости озимой ржи на применение азотных удобрений.

Линейные уравнения зависимости урожайности зерна от доз азота, представленные в таблице 4, имеют высокую величину достоверности аппроксимации.

Результаты дисперсионного анализа данных эффективности азотных удобрений под озимую рожь на почве средней степени окультуренности приведены в таблице 5. Влияние различных доз азота (фактора А) и влияние почвенно-климатических условий (фактора В) были существенны, что подтверждается определением статистических критериев:

$$F_{\text{фактич}} > F_{\text{критич}}; p\text{-value} < 0.05.$$

На рисунке 4 отображено влияние листовых подкормок и МБП Бисолбифит на урожайность зерна озимой ржи в зависимости от окультуренности почвы, в среднем за 2019–2021 гг.

На почве средней степени окультуренности наибольшая прибавка к минеральному фону получена при внесении МБП Бисолбифит, которая составила 0.22 т/га или 7.6%.

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа данных эффективности азотных удобрений под озимую рожь на почве высокой степени окультуренности
Table 3. Results of dispersion analysis of data on the effectiveness of nitrogen fertilizers applied under winter rye on soil cultivated for a long-term

Источник разброса		SS	df	MS	F	p-value	F критич
Фактор А		2.777969	9.00	0.31	7.7295	0.000130	2.45628
Фактор В		17.02759	2.00	8.51	213.201	0.000000	3.55456
Ошибка модели		0.718796	18.00	0.04			
Всего		20.52436	29.00				
Вывод 1	ИСТИНА	Нулевая гипотеза об отсутствии влияния уровней Фактора А отклонена. Различие средних значений выборок не может быть объяснено лишь случайностью					
Вывод 2	ИСТИНА	Нулевая гипотеза об отсутствии влияния уровней Фактора В отклонена. Различие средних значений выборок не может быть объяснено лишь случайностью					

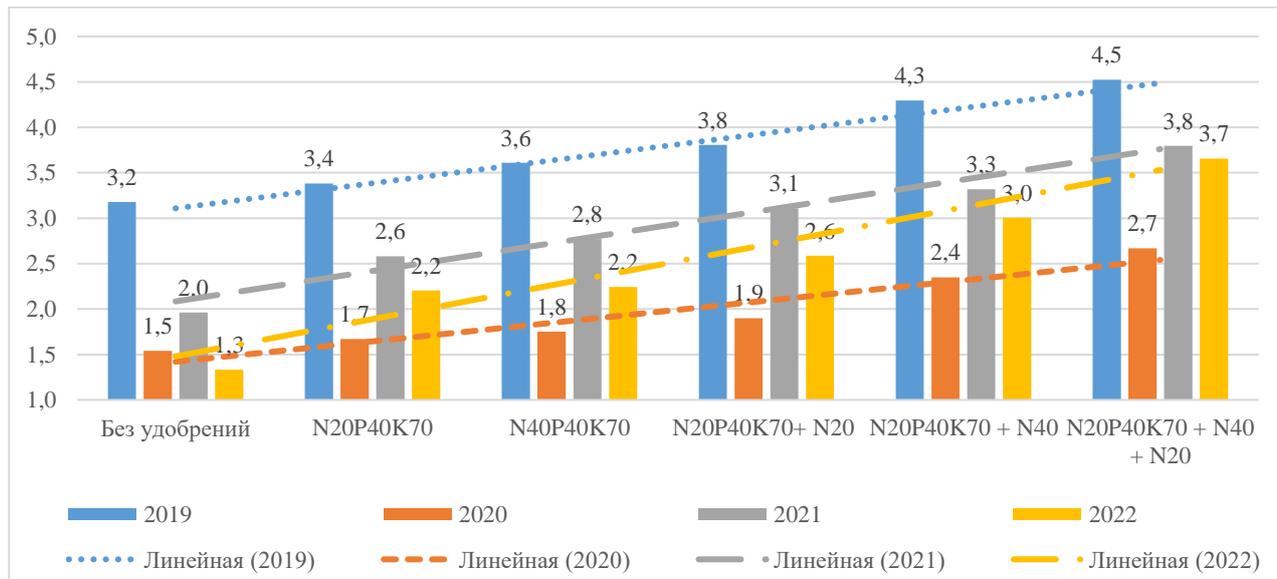


Рис. 3. Влияние различных доз азотных удобрений на урожайность зерна озимой ржи на дерново-подзолистой почве средней степени окультуренности и на освоенной дерново-подзолистой почве, т/га.

Fig. 3. Influence of various doses of nitrogen fertilizers on the yield of winter rye grain on moderately cultivated soddy-podzolic soil and on long-term cultivated soddy-podzolic soil, t/ha.

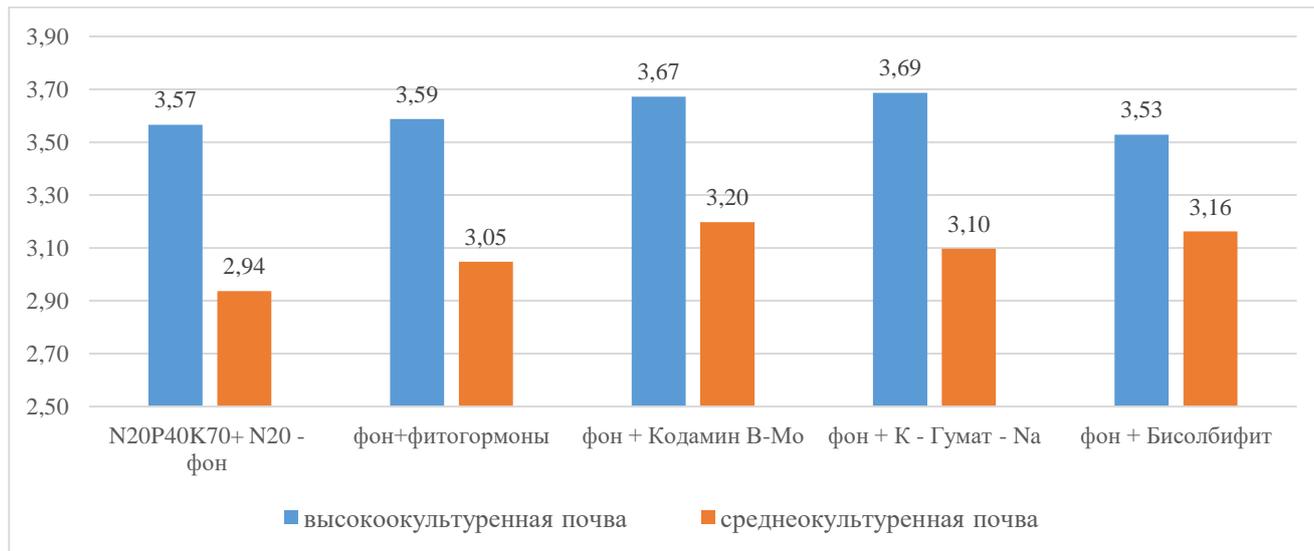


Рис. 4. Влияние окультуренности почвы и биопрепаратов на урожайность зерна озимой ржи, в среднем, т/га.
Fig. 4. Influence of soil cultivation status and biological preparations on the yield of winter rye grain, on average, t/ha.

Таблица 4. Уравнения линейной зависимости урожайности зерна озимой ржи от доз азотных удобрений на почве средней степени окультуренности и на освоенной почве

Table 4. The equation of the linear dependence of the yield of winter rye from the dose of nitrogen fertilizers on the soil of an average degree of cultivation and on mastered soddy-podzolic soil

Год	Уравнение	Величина достоверности аппроксимации
2019	$Y = 0.2758X + 2.8329$	0.9764
2020	$Y = 0.224X + 1.196$	0.9128
2021	$Y = 0.3352X + 1.7489$	0.9734
2022	$Y = 0.4103X + 1.0687$	0.9458

Обработка растений Агрофлорином и Ауксиноленом обеспечивала дополнительно к минеральному фону 0.11 т/га зерна или 3.67%, биопрепаратом Кодамин В-Мо – 0.26 т/га или 8.78% и гуминовым удобрением К-Гумат-На – 0.16 т/га или 5.36%. На высокоокультуренной почве действие биопрепаратов было выражено существенно меньше. Проведение листовых подкормок биопрепаратами Кодамин В-Мо и К-Гумат-На повышало урожайность, в сравнении с минеральным фоном, на 0.1 т/га и 0.12 т/га или 2.8% и 3.4% соответственно. Несмотря на более выраженный эффект от биопрепаратов на среднеокультуренном участке, на участке с высокой степенью окультуренности урожайность зерна была выше на 0.37–0.59 т/га.

Агрономическая эффективность средств химизации, определяемая величиной прибавки урожая и окупаемостью вносимых удобрений, представлена в таблице 6. Анализ данных таблицы показал, что степень окультуренности почвы оказывала заметное влияние на величину получаемых прибавок и окупаемость действующего вещества удобрений. На высокоокультуренной (ВО) почве проведение азотных подкормок в различных дозах обеспечивало в годы исследований прибавки урожая зерна в пределах 0.38–1.7 т/га или 11.2–65.9% к контролю при окупаемости 2.1–10.0 кг зерна за 1 кг NPK.

Таблица 5. Результаты дисперсионного анализа данных эффективности азотных удобрений под озимую рожь на почве средней степени окультуренности
Table 5. Results of dispersion analysis of data on the effectiveness of nitrogen fertilizers applied under winter rye on the moderately cultivated soil

Источник разброса		SS	df	MS	F	p-value	F критич
Фактор А		7.0731002	9	0.7859	19.73221	0.000000	2.250131
Фактор В		18.720118	3	6.240039	156.6736	0.000000	2.960351
Ошибка модели		1.0753638	27	0.039828			
Всего		26.868582	39				
Вывод 1	ИСТИНА	Нулевая гипотеза об отсутствии влияния уровней Фактора А отклонена. Различие средних значений выборок не может быть объяснено лишь случайностью					
Вывод 2	ИСТИНА	Нулевая гипотеза об отсутствии влияния уровней Фактора В отклонена. Различие средних значений выборок не может быть объяснено лишь случайностью					

Таблица 6. Влияние окультуренности почвы на агрономическую эффективность азотных удобрений под озимую рожь и затраты азота на производство продукции
Table 6. Influence of soil cultivation on the agronomic efficiency of nitrogen fertilizers under winter rye and nitrogen costs for production

Почва	Дозы азота, кг/га									
	20	40	20+20	20+40	20+40+ 20	20	40	20+20	20+40	20+40+ 20
	Прибавки, (в числителе – т/га, в знаменателе – %)					Затраты N, кг/т – в числителе; Окупаемость, кг зерна/кг NPK – в знаменателе				
ВО 2019	<u>0.38</u> 11.2	<u>0.73</u> 21.2	<u>0.77</u> 22.6	<u>0.68</u> 19.9	<u>0.39</u> 11.5	<u>5.3</u> 2.9	<u>9.6</u> 4.8	<u>9.5</u> 5.2	<u>14.6</u> 4.0	<u>21.0</u> 2.1
ВО 2020	<u>0.39</u> 21.4	<u>0.54</u> 29.7	<u>0.56</u> 30.8	<u>1.2</u> 65.9	<u>0.8</u> 44.0	<u>9.0</u> 3.0	<u>16.9</u> 3.6	<u>16.8</u> 3.7	<u>19.9</u> 7.1	<u>30.5</u> 4.2
ВО 2021	<u>0.75</u> 25.5	<u>1.05</u> 35.7	<u>1.17</u> 39.8	<u>1.70</u> 57.8	<u>1.37</u> 46.6	<u>5.4</u> 5.8	<u>10.0</u> 7.0	<u>9.7</u> 7.8	<u>12.9</u> 10.0	<u>18.5</u> 7.2
ВО среднее за 3 г.	<u>0.51</u> 19.4	<u>0.77</u> 28.9	<u>0.84</u> 31.1	<u>1.19</u> 47.9	<u>0.86</u> 34.0	<u>6.6</u> 3.9	<u>12.2</u> 5.2	<u>12.0</u> 5.6	<u>15.8</u> 7.0	<u>23.4</u> 4.5

Продолжение таблицы 6
Table 6 continued

Почва	Дозы азота, кг/га									
	20	40	20+20	20+40	20+40+ 20	20	40	20+20	20+40	20+40+ 20
	Прибавки, (в числителе – т/га, в знаменателе – %)					Затраты N, кг/т – в числителе; Окупаемость, кг зерна/кг NPK – в знаменателе				
СО 2019	<u>0.20</u> 6.3	<u>0.43</u> 13.5	<u>0.63</u> 19.7	<u>1.11</u> 35	<u>1.34</u> 42.2	<u>5.9</u> 1.5	<u>11.1</u> 2.9	<u>10.5</u> 4.2	<u>14.0</u> 6.5	<u>17.7</u> 7.1
СО 2020	<u>0.13</u> 8.4	<u>0.21</u> 13.6	<u>0.36</u> 23.4	<u>0.81</u> 52.6	<u>1.13</u> 73.4	<u>12.0</u> 1.0	<u>22.9</u> 1.4	<u>21.1</u> 2.4	<u>25.5</u> 4.8	<u>30.0</u> 5.9
СО 2021	<u>0.62</u> 31.6	<u>0.81</u> 41.3	<u>1.15</u> 58.5	<u>1.36</u> 69.3	<u>1.84</u> 93.7	<u>7.8</u> 4.8	<u>14.4</u> 5.4	<u>12.9</u> 7.6	<u>18.1</u> 8.0	<u>21.1</u> 9.7
СО среднее за 3 г.	<u>0.32</u> 15.4	<u>0.48</u> 22.8	<u>0.71</u> 33.9	<u>1.09</u> 52.3	<u>1.44</u> 69.8	<u>8.5</u> 2.4	<u>16.1</u> 3.2	<u>14.8</u> 4.7	<u>19.2</u> 6.4	<u>22.9</u> 7.5
Ос 2022	<u>0.88</u> 65.8	<u>0.91</u> 68.6	<u>1.26</u> 94.5	<u>1.67</u> 125.9	<u>2.33</u> 174.9	<u>9.0</u> 6.7	<u>17.9</u> 6.1	<u>15.4</u> 8.4	<u>20.0</u> 9.9	<u>21.9</u> 12.2

В среднем за три года исследований установлена наиболее эффективная доза азота для озимой ржи, возделываемой на дерново-подзолистой почве высокой степени окультуренности, равная 60 кг/га, внесенная дробно: 20 кг/га в основное удобрение и 40 кг/га в фазу кущения весной. Внесение указанной дозы азота способствовало получению наибольшей прибавки – 1.19 т/га или 47.9% к контролю при окупаемости 7.0 кг зерна за 1 кг NPK. Наибольшая окупаемость удобрений – 10.0 кг зерна за 1 кг NPK – получена в 2021 г.

На участках почвы, имеющей среднюю степень окультуренности (СО), различные дозы азотных подкормок способствовали получению прибавок урожая зерна от 0.13 до 1.84 т/га или 6.3–93.7% к контролю при окупаемости 1.0–9.7 кг зерна за 1 кг NPK. Наиболее эффективная доза азота для озимой ржи, возделываемой на дерново-подзолистой почве средней степени окультуренности, составила 80 кг/га: 20 кг/га было внесено с основным удобрением, 40 кг/га – в фазу кущения весной и 20 кг/га – в фазу выхода в трубку. В среднем по годам при внесении указанной дозы азота прибавка зерна была равна 1.44 т/га или 69.8% к контролю, с окупаемостью 7.5 кг зерна за 1 кг NPK. Благоприятные условия 2021 г. на среднеокультуренном участке позволили окупить 1 кг NPK 9.7 кг зерна.

На освоенной почве прибавки урожая зерна были наибольшими, что объясняется низким уровнем плодородия и высокой отзывчивостью растений на применение удобрений. В зависимости от дозы внесенного азота они находились в пределах от 0.88 т/га или 65.8% к контролю до 2.33 т/га или 174.9% соответственно. Окупаемость удобрений возрастала с повышением дозы азота. Максимальная окупаемость – 12.2 кг зерна за 1 кг NPK – установлена при внесении $N_{80}P_{40}K_{70}$ с дробным внесением азота.

В таблице 6 представлены данные о затратах азота на производство 1 т зерна озимой ржи. В среднем за три года исследований на почве с высокой степенью окультуренности затраты азота на производство зерна возрастали в зависимости от дозы элемента с 6.6 кг/т при внесении минимальной дозы (равной 20 кг/га) до 23.4 кг/т при внесении 80 кг азота/га. На почве со средней степенью окультуренности при внесении всех исследуемых доз азота,

за исключением 80 кг/га, наблюдается повышение затрат элемента, в сравнении с высокоокультуренным участком, до 8.5 кг/т при внесении 20 кг/га. При внесении 40 кг/га (в первом случае внесено 40 кг/га с осени, во втором – 20 кг/га с осени и 20 кг/га в подкормку рано весной) затраты азота возрастали до 16.1 и 14.8 кг/т, а при внесении 60 кг/га – до 19.2 кг/т зерна. На освоенной почве затраты азота удобрений составляли 9.0 кг/т зерна при внесении 20 кг/га, 17.9 кг/т при внесении 40 кг/га осенью. Отмечено, что дробное внесение 40 кг/га азота (20 кг/га с осени и 20 кг/га в подкормку) способствовало снижению затрат элемента – до 15.4 кг/т зерна.

Установлена закономерность, при которой с повышением окультуренности дерново-подзолистой почвы снижались затраты азота на производство зерна. Исключение составляет величина исследуемого показателя при внесении дозы азота, равной 80 кг/га. Отсутствие закономерного снижения затрат элемента на производство зерна при повышении плодородия почвы обусловлено снижением урожайности на высокоокультуренном участке, вследствие избыточного азотного питания и полегания растений.

Одним из способов повышения эффективности минеральных удобрений при возделывании озимой ржи является применение биопрепаратов. Результаты изучения эффективности минеральных удобрений под влиянием биопрепаратов на почве с различной степенью окультуренности представлены на рисунке 5.

Установлено, что применение биопрепаратов повышало эффективность минеральных удобрений. На высокоокультуренной почве на каждый 1 кг NPK дополнительно к минеральному фону получено 0.15, 0.75 и 0.83 кг зерна при проведении листовых подкормок растворами препаратов Агрофлорин и Ауксинолен, Кодамин В-Мо, К-Гумат-На соответственно.

На среднеокультуренной почве дополнительно получено 0.74, 1.74 и 1.09 кг зерна от листовых подкормок биопрепаратами Агрофлорин и Ауксинолен, Кодамин В-Мо, К- Гумат-На соответственно и 1.51 кг зерна за 1 кг NPK при внесении МБП Бисолбифит.

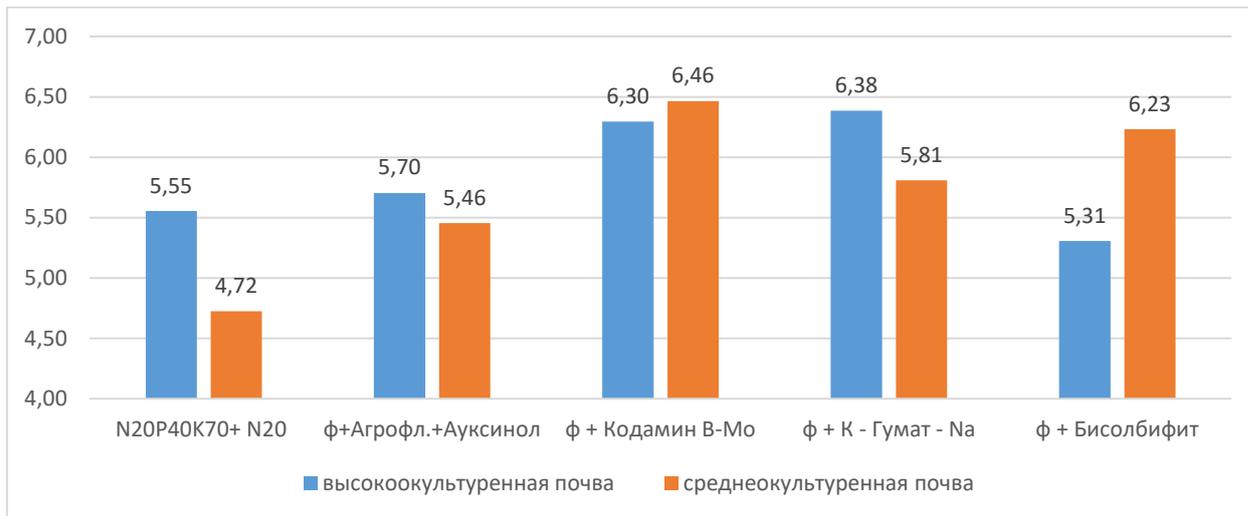


Рис. 5. Влияние степени окультуренности почвы и биопрепаратов на агрономическую эффективность азотных удобрений под озимую рожь, кг зерна за 1 кг NPK (в среднем за 2019–2021 гг.).

Fig. 5. Influence of soil cultivation status and biological preparations on the agronomic efficiency of nitrogen fertilizers applied for winter rye, kg of grain per 1 kg of NPK (average for 2019–2021).

Применение биопрепаратов на высокоокультуренной почве оказало меньшее действие вследствие большей обеспеченности растений элементами питания. В то время как на среднеокультуренной почве присутствовал ограничивающий урожайность фактор, который был скорректирован биопрепаратами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проводимых на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве разной степени окультуренности, установлены основные закономерности действия минеральных удобрений с разными дозами азота, а также биопрепаратов на фоне $N_{20}P_{40}K_{70}+N_{20}$, на урожайность зерна озимой ржи и окупаемость удобрений в Псковской области.

Степень окультуренности почвы оказывала существенное влияние на урожайность зерна озимой ржи. В контрольном варианте среднеокультуренной почвы недополучено 0.5 т/га зерна, на освоенной – 1.4 т/га, в сравнении с высокоокультуренной почвой. Затраты азотных удобрений для получения максимального эффекта на высокоокультуренной почве были ниже в разные годы на 20–40 кг/га.

На дерново-подзолистой освоенной почве внесение минеральных удобрений обеспечивало более высокое действие на урожайность зерна. Максимальный агрономический эффект оказало внесение минеральных удобрений $N_{80}P_{40}K_{70}$ с дробным внесением азота: в основное удобрение, ранневесеннюю подкормку и подкормку в фазу выхода в трубку. Прибавка урожая от удобрений достигла 2.33 т/га или 174.9% к контролю с окупаемостью 12.2 кг зерна за 1 кг NPK.

На среднеокультуренной почве для получения максимального урожая потребовалось в составе полного минерального удобрения 80 кг азота на гектар, при этом окупаемость достигла 5.9–9.7 кг зерна за 1 кг NPK.

На почве с высокой степенью окультуренности максимальный эффект получен при внесении полного минерального удобрения с дозой азота 40 кг д. в. в 2019 г. и 60 кг д. в. в 2020 и 2021 гг. Окупаемость удобрений при внесении максимально эффективных доз азота составляла 5.2–10.0 кг зерна за 1 кг NPK.

Совместное применение минеральных удобрений с невысокими дозами азота и биопрепаратов на почве средней степени окультуренности повышало окупаемость удобрений. Агрономическая эффективность биопрепаратов была эквивалентна 3.7–8.8% прибавки урожая относительно минерального фона. На высокоокультуренной почве действие биопрепаратов было выражено слабее, что можно объяснить более высоким уровнем плодородия почвы.

Исследования показали, что в границах одного сельскохозяйственного предприятия имеются участки почвы с разной степенью окультуренности и разной потребностью растений в элементах питания, что определяет необходимость проведения агрохимических изысканий на каждом конкретном поле для расчета экономически обоснованных затрат при разработке ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрофлорин. URL: <http://агрофлорин.рф/> (Дата обращения 29.11.23).
2. Бисолбиплюс. URL: <http://bisolbiplus.ru> (Дата обращения 29.11.23).
3. *Битюцкий Н.П.* Микроэлементы высших растений. СПб.: изд-во СПб ун-та, 2011. 368 с.
4. *Волкова Е.С.* Резервы азотного питания кормовой озимой ржи, возделываемой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Материалы 53 Междунар. науч.-практ. конф-и, посвящ. 115-летию со дня рождения профессора А.В. Петербургского / Под ред. Академика РАН В.Г. Сычева. М.: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2019. С. 192.
5. Всевснаб. URL: <https://vsevsnab.ru/> (Дата обращения 29.11.23).
6. *ГОСТ 26212-2021 Почвы.* Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО.
7. *ГОСТ 26483-85 Почвы.* Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО.
8. *ГОСТ 27821-2020 Почвы.* Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена.
9. *ГОСТ Р 54650-2011 Почвы.* Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.
10. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1985. 416 с.
11. *Завалин А.А., Чернова Л.С., Гаврилова А.Ю., Чеботарь В.К.* Влияние минеральных удобрений, биомодифицированных микробным

препаратом Бисолбифит, на урожай ярового ячменя // *Агрохимия*. 2015. № 4. С. 21–33.

12. *Кирюшин В.И.* Развитие парадигмы сельскохозяйственного природопользования (к 175-летию В.В. Докучаева) // *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2021. Специальный выпуск. С. 5–26. DOI: [10.19047/0136-1694-2021-D-5-26](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-D-5-26).

13. *Кирюшин В.И., Кирюшин С.В.* *Агротехнологии*. СПб.: Изд-во “Лань”, 2015. 464 с.

14. *Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Потапова Г.Н., Ткаченко И.В., Галимов К.А.* Изучение инновационной зернофуражной низкопентозановой озимой ржи // *Пермский аграрный вестник*. 2014. № 1(5). С. 10–16.

15. *Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А.* Эффекты последействия минеральных и органических удобрений на дерново- подзолистой почве // *Плодородие*. 2019. № 1. С. 15–17.

16. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / Под ред. *А.Л. Иванова, Л.М. Державина*. М.: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. 392 с.

17. *Никитишен В.И.* Оптимизация азотного режима почв с использованием агрохимических средств / Сборник всероссийского совещания “Экологические функции агрохимии в современном земледелии”. М.: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2008. С. 152–156.

18. *Новиков М.Н.* Биологические приемы эффективного использования азота почвы, удобрений, симбиотической азотфиксации в полевых агроценозах // *Агрохимия*. 2020. № 8. С. 60–69.

19. *Оситов А.И., Шкрабак Е.С.* Роль некорневого питания в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019. № 54. С. 44–52.

20. *Савин И.Ю., Бербеков С.А., Тутукова Д.А.* Комплексная оценка неоднородности почвенного покрова по состоянию посевов // *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2022. Вып. 113. С. 31–57. DOI: [10.19047/0136-1694-2022-113-31-57](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-113-31-57).

21. *Савич В.И., Гукалов В.В., Сорокин А.Е., Конах М.Д.* Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени и в пространстве // *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2021. Вып. 106. С. 163–175. DOI: [10.19047/0136-1694-2021-106-163-175](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-106-163-175).

22. СевЗапАгро. URL: <https://sevzapagro.ru/> (Дата обращения 29.11.23).

23. Сила жизни. URL: <http://www.silazhizni.ru/> (Дата обращения 29.11.23).

24. *Суров В.В.* Продуктивность озимой ржи на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при применении удобрений и микробиологического препарата // Молочнохоз. вестник. 2017. № 4(28). С. 93–99.
25. *Сысуев В.А., Кедрова Л.И., Рубцова Н.Е., Русаков Р.В., Устюжанин И.А., Уткина Е.И.* Концептуальные направления развития научно-инновационного проекта “Рожь России” // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 11. С. 28–31.
26. *Сычев В.Г., Шафран С.А.* Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений // Плодородие. 2019. № 2. С. 22–25.
27. *Сычев В.Г., Ефремов Е.Н.* Агрохимия в решении задач продовольственной безопасности // Мат-лы Всероссийской науч. конф. с междунар. уч., посвященной памяти академика РАН В.Г. Минеева “АГРОХИМИЯ В XXI ВЕКЕ” / Под ред. *В.А. Романенкова*. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2018. С. 35–41.
28. *Сычев В.Г., Беличенко М.В., Романенков В.А.* Этапы развития, результаты исследований и актуальные проблемы длительных агрохимических полевых опытов Географической сети опытов с удобрениями // Агрохимия. 2018. № 1. С. 3–16.
29. *Чеботарь В.К.* Применение биомодифицированных минеральных удобрений: монография / *В.К. Чеботарь, А.А. Завалин, А.Г. Ариткин*. М.: ВНИИА. Ульяновск: УлГУ, 2014. 142 с.
30. *Чухина О.В., Обряева О.Д., Кулакова И.Е., Смирнов Д.Е.* Урожайность зерна озимой ржи и вынос культурой элементов питания при применении удобрений в Вологодской области // Молочнохоз. вестник. 2019. № 2(34). С. 62–71.
31. *Шайкова Т.В., Рысев М.Н., Волкова Е.С., Степанова И.А.* Земельные ресурсы Псковской области и пути повышения плодородия пахотных угодий // Известия Великолукской ГСХА. 2019. № 3. С. 34–44.
32. *Шафран С.А.* Баланс азота в земледелии России и его регулирование в современных условиях // Агрохимия. 2020. № 6. С. 14–21.
33. *Шафран С.А.* Затраты азотных удобрений на формирование урожайности зерновых культур в зависимости от агрохимической окультуренности почв // Агрохимия. 2022. № 5. С. 38–46.
34. *Fernandez V., Sotiropoulos T., Brown P.* Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices. First edition. IFA. Paris, 2013. 144 p.
35. *Marenych M.M., Hanhur V.V., Len O.I., HanhurYu.M., Zhornyk I.I., Kalinichenko A.V.* The efficiency of humic growth stimulators in pre-sowing seed treatment and foliar additional fertilizing of sown areas of grain and

industrial crops. // *Agronomy Research*. 2019. No. 17(1). P. 194–205. DOI: [10.15159/AR.19.023](https://doi.org/10.15159/AR.19.023).

REFERENCES

1. *Agroflorin*, URL: <http://agroflorin.rf/> (accessed on 29.11.23).
2. *Bisolbiplus*, URL: <http://bisolbiplus.ru> (accessed on 29.11.23).
3. Bityutsky N.P., *Mikrojelementy vysshih rastenij* (Microelements of higher plants), St. Petersburg: St. Petersburg University Press, 2011, 368 p.
4. Volkova E.S., Rezervy azotnogo pitaniya kormovoj ozimoj rzhi, vozdeleyaemoj na dernovo-podzolistoj legkosuglinistoj pochve (Reserves of nitrogen nutrition for fodder winter rye cultivated on soddy-podzolic light loamy), In: *Materialy 53 Mezhdunar. nauch.-prakt. konf-i, posvjashh. 115-letiju so dnja rozhdenija professora A.V. Peterburgskogo* (Proc. of the 53rd Int. Sci. and Pract. Conf. devoted to the 115th anniversary of the birth of Professor A.V. Peterburgsky), V.G. Sychev (Ed.), Moscow: VNIIA im. D.N. Prjanishnikova, 2019, pp. 192.
5. *Vsevsnab*, URL: <https://vsevsnab.ru/> (accessed on 29.11.23).
6. State Standard GOST 26212-2021 *Soils. Determination of hydrolytic acidity by the Kappen method modified by CINAO*.
7. State Standard GOST 26483-85 *Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH according to the CINAO method*.
8. State Standard GOST 27821-2020 *Soils. Determination of the sum of absorbed bases by the Kappen method*.
9. State Standard GOST R 54650-2011 *Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Kirsanov method modified by CINAO*.
10. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)* (Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Kolos, 1985, 416 p.
11. Zavalin A.A., Chernova L.S., Gavrilova A.Ju., Chebotar' V.K., Vlijanie mineral'nyh udobrenij, biomodifirovannyh mikrobnym preparatom Bisolbifit, na urozhaj jarovogo jachmenja (Effect of mineral fertilisers, biomodified by microbial preparation Bisolbifit, on the yield of spring barley), *Agrohimiya*, 2015, No. 4, pp. 21–33.
12. Kiryushin V.I., Developing the paradigm of environmental management in agriculture (to the 175-th anniversary of V.V. Dokuchaev), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, pp. 5–26, DOI: [10.19047/0136-1694-2021-D-5-26](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-D-5-26).
13. Kiryushin V.I., Kiryushin S.V., *Agrotechnologies*, St. Petersburg: Izdvo “Lan”, 2015, 464 p.

14. Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V., Potapova G.N., Tkachenko I.V., Galimov K.A., Izuchenie innovacionnoj zernofurazhnoj nizkopentozanovoj ozimoj rzhi (Study of innovative grain-forage low-pentose winter rye), *Permskij agrarnij vestnik*, 2014, No. 1(5), pp. 10–16.
15. Merzlaja G.E., Afanas'ev R.A., Jeffekty posledejstvija mineral'nyh i organicheskikh udobrenij na dernovo-podzolistoj pochve (Effects of the after-effects of mineral and organic fertilisers on sod-podzolic soil), *Plodorodie*, 2019, No. 1, pp. 15–17.
16. Ivanov A.L., L.M. Derzhavin (Eds), *Metodicheskoe rukovodstvo po proektirovaniju primenenija udobrenij v tehnologijah adaptivno-landshaftnogo zemledelija* (Methodical guide for the design of fertiliser application in technologies of adaptive-landscape farming), Moscow: Minsel'hoz RF, RASHN, 2008, 392 p.
17. Nikitishen V.I., Optimizacija azotnogo rezhima pochv s ispol'zovaniem agrohimicheskikh sredstv (Optimisation of a nitrogen regime of soils with the use of agrochemical means), In: *Sbornik vsersijskogo soveshhanija "Ekologicheskie funkicii agrohimii v sovremennom zemledelii"* (Collection of the All-Russian meeting "Ecological functions of agrochemistry in modern farming"), Moscow: VNIIA im. D.N. Prjanishnikova, 2008, pp. 152–156.
18. Novikov M.N., Biologicheskie priemy jeffektivnogo ispol'zovanija azota pochvy, udobrenij, simbioticheskoj azotfiksacii v polevyh agrocenozah (Biological methods of effective use of soil nitrogen, fertilisers, symbiotic nitrogen fixation in field agrocenoses), *Agrohimija*, 2020, No. 8, pp. 60–69.
19. Osipov A.I., Shkrabak E.S., Rol' nekerneвого pitanija v povyshenii produktivnosti sel'skohoz'jajstvennyh kul'tur (Role of foliar nutrition in increasing the productivity of agricultural crops), *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 54, pp. 44–52.
20. Savin I.Yu., Berbekov S.A., Tutukova D.A., Comprehensive assessment of soil heterogeneity by crop canopy status, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2022, Vol. 113, pp. 31–57, DOI: [10.19047/0136-1694-2022-113-31-57](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-113-31-57).
21. Savich V.I., Gukalov V.V., Sorokin A.E., Konakh M.D., Agroecological evaluation of interrelationships of soil properties in time and space, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, Vol. 106, pp. 163–175, DOI: [10.19047/0136-1694-2021-106-163-175](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-106-163-175).
22. *SevZapAgro*, URL: <https://sevzapagro.ru/> (accessed on 29.11.23).
23. *Sila zhizni*, URL: <http://www.silazhizni.ru/> (accessed on 29.11.23).
24. Surov V.V., Produktivnost' ozimoj rzhi na dernovo-podzolistoj legkosuglinistoj pochve pri primenenii udobrenij i mikrobiologicheskogo preparata (Productivity of winter rye on sod-podzolic light loamy soil under application of fertilizers and microbiological preparation), *Molochnohoz. Vestnik*, 2017, No. 4(28), pp. 93–99.
25. Sysuev V.A., Kedrova L.I., Rubcova N.E., Rusakov R.V., Ustjuzhanin I.A., Utkina E.I. Konceptual'nye napravlenija razvitija nauchno-innovacionnogo proekta "Rozh' Rossii" (Conceptual directions for the development of scientific and innovation project "Rye of Russia"), *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2015, Vol. 29, No. 11, pp. 28–31.
26. Sychev V.G., Shafran S.A., Prognoz plodorodija pochv Nechernozemnoj zony v zavisimosti ot urovnja primenenija udobrenij (Forecast of soil fertility of the Non-Chernozem zone depending on the level of fertiliser application), *Plodorodie*, 2019, No. 2, pp. 22–25.

27. Sychev V.G., Efremov E.N., *Agrohimija v reshenii zadach prodovol'stvennoj bezopasnosti (Agrochemistry in solving the problems of food security)*, In: *Mat-ly Vserossijskoj nauch. konf. s mezhdunar. uch., posvjashhennoj pamjati akademika RAN V.G. Mineeva "AGROHIMIJa V XXI VEKE"* (Proc. of the All-Russian Sci. Conf. with international studies in memory of Academician RAS V.G. Mineev "AGROCHEMIA IN XXI VEK"), V.A. Romanenkov (Ed.), Moscow: Izd-vo VNIIA im. D.N. Prjanishnikova, 2018, pp. 35–41.
28. Sychev V.G., Belichenko M.V., Romanenkov V.A., *Etapy razvitija, rezul'taty issledovanij i aktual'nye problemy dlitel'nyh agrohimicheskikh polevyh opytov Geograficheskoy seti opytov s udobrenijami (Stages of development, research results and current problems of long-term agrochemical field experiments of the Geographical network of experiments with fertilisers)*, *Agrohimija*, 2018, No. 1, pp. 3–16.
29. Chebotar' V.K., Zavalin A.A., Aritkin A.G., *Primenenie biomodificirovannyh mineral'nyh udobrenij: monografija (Application of biomodified mineral fertilisers: a monograph)*, Moscow: VNIIA. Ul'janovsk: UIGU, 2014, 142 p.
30. Chuhina O.V., Obrjaeva O.D., Kulakova I.E., Smirnov D.E., *Urozhajnost' zerna ozimoj rzhi i vynos kul'turoj jelementov pitanija pri primenenii udobrenij v Vologodskoj oblasti (Grain yield of winter rye and crop nutrient element removal under fertiliser application in the Vologda Oblast)*, *Molochnohoz. Vestnik*, 2019, No. 2(34), pp. 62–71.
31. Shajkova T.V., Rysev M.N., Volkova E.S., Stepanova I.A., *Zemel'nye resursy Pskovskoj oblasti i puti povyshenija plodorodija pahotnyh ugodij (Land resources of the Pskov region and ways to improve the fertility of arable land)*, *Izvestija Velikolukskoj GSHA*, 2019, No. 3, pp. 34–44.
32. Shafran S.A., *Balans azota v zemledelii Rossii i ego regulirovanie v sovremennyh uslovijah (Nitrogen balance in Russian agriculture and its regulation in modern conditions)*, *Agrohimija*, 2020, No. 6, pp. 14–21.
33. Shafran S.A., *Zatraty azotnyh udobrenij na formirovanie urozhajnosti zernovyh kul'tur v zavisimosti ot agrohimicheskoy okul'turennosti pochv (Nitrogen fertiliser inputs for the formation of grain crop yields depending on the agrochemical cultivation of soils)*, *Agrohimija*, 2022, No. 5, pp. 38–46.
34. Fernandez V., Sotiropoulos T., Brown P., *Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices*, First edition, IFA, Paris, 2013, 144 p.
35. Marenych M.M., Hanhur V.V., Len O.I., Hanhur Yu.M., Zhornyk I.I., Kalinichenko A.V., *The efficiency of humic growth stimulators in pre-sowing seed treatment and foliar additional fertilizing of sown areas of grain and industrial crops*, *Agronomy Research*, 2019, No. 17(1), pp. 194–205, DOI: [10.15159/AR.19.023](https://doi.org/10.15159/AR.19.023).