

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ И ОКУЛЬТУРЕННОСТИ ПОЧВЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ И НОРМАТИВНЫЙ ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ УРОЖАЕМ ГИБРИДНОЙ ОЗИМОЙ РЖИ

Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун,
Н. Ю. Жабровская, Е. И. Гутько

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Состояние почв, степень их соответствия требованиям сельскохозяйственных растений для формирования высоких урожаев оценивается степенью оккультуренности почвы. На почвах с высоким уровнем плодородия для получения планируемой урожайности сельскохозяйственных культур затраты минеральных удобрений всегда ниже, чем на почвах с более низкими показателями агрохимических свойств. Поэтому повышение эффективности использования удобрений относится к числу важнейших государственных задач, стоящих перед почвенно-агрохимической наукой и аграрной отраслью Республики Беларусь. Только научно обоснованная система удобрения может обеспечить получение плановых уровней урожаев возделываемых культур хорошего качества с одновременным регулированием почвенного плодородия и соблюдением требований охраны окружающей среды.

В последние годы в Беларуси все сложнее становятся погодные условия: увеличивается количество и продолжительность засух, заморозков, шквалистых ливней. Для уменьшения рисков снижения продуктивности зерновых культур от погодного фактора определяющее значение имеет грамотно построенная структура зернового клина в направлении максимального использования ими биологических факторов при минимальных затратах ресурсов. Необходимо вводить в севооборот культуры с высокой стрессоустойчивостью и, в первую очередь, засухоустойчивые. Среди зерновых культур рожь лучше других приспособлена к возделыванию на почвах с невысоким естественным плодородием, более устойчива к неблагоприятным погодным условиям, менее требовательна к предшественникам, слабо поражается корневыми гнилями и обеспечивает, при соблюдении технологии возделывания, гарантированные урожаи [1, 2].

Э. П. Урбан также указывает, что среди озимых зерновых – рожь наиболее адаптивная культура в условиях почвенно-климатической зоны Беларуси, которая по урожайности в большинстве случаев не уступает другим зерновым, хотя размещается, как правило, на менее плодородных почвах и по худшим предшественникам [3]. Преимуществом этой культуры является высокая зимостойкость, обусловленная биологическими свойствами и особенностями технологии возделывания. В последние годы в республике ежегодный выход зерна озимой ржи составляет 0,7–0,8 млн т или около 10 % валового сбора зерновых колосовых культур [4]. Общеизвестно, что озимая рожь – универсальная культура, зерно которой используется как на продовольствие, так и на фуражные цели в виде

компонентом комбикормов. Однако в последние годы озимая пшеница постепенно вытесняет озимую рожь из структуры посевных площадей. Так, в 2021 г. озимая рожь занимала 353,4 тыс. га [5]. Согласно рабочему плану проведения осенних полевых работ в сельскохозяйственных организациях республики под урожай 2026 г. она должна быть посажена на площади только 245,9 тыс. га, что составляет 16 % от всей площади, занятой под озимыми зерновыми культурами [6].

В Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений на 2025 г., допущенных к возделыванию на территории республики, включено 48 сортов озимой ржи отечественной и зарубежной селекции, из них более половины – гибриды с высоким потенциалом урожайности [7]. Одним из таких является гибридная рожь КВС Винетто.

По данным [8] в 2024 г. в республике гибридная рожь была высажена на площади всего лишь 30 тыс. га; 88 % посевных площадей, отводимых под эту культуру, занимали популяционные сорта диплоидной и тетраплоидной ржи белорусской селекции. В то же время, например, в Германии гибридная рожь занимает около 60 % всех посевов этой культуры.

В текущем году мировой рынок озимой ржи оценивается в 3,6 млрд долл. США, в 2030 г. прогнозируется достичь 4,4 млрд долл. США. На рост рынка влияют изменения климата, а также растущие предпочтения заботящихся о здоровье потребителей среднего класса, что свидетельствует об актуальности проводимых исследований.

Цель исследований – оценить влияние систем удобрения на урожайность зерна гибридной озимой ржи и окупаемость удобрений на средне- и высокоокультуренных почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования с озимой рожью гибрид КВС Винетто проводили в 2021–2024 гг. на средне- и высокоокультуренных дерново-подзолистых почвах в трех полях. Среднеокультуренная дерново-подзолистая супесчаная почва характеризовалась слабокислой и близкой к нейтральной реакцией почвенной среды, средним и повышенным содержанием гумуса, подвижных форм фосфора, низким и средним содержанием подвижных форм калия. Высокоокультуренная легкосуглинистая почва характеризовалась нейтральной реакцией почвенной среды, высоким содержанием гумуса и подвижных форм калия и очень высоким – подвижных форм фосфора. Опыты заложены в 4-кратной повторности вариантов. Общий размер делянки – 31,2 м². Предшественник озимой ржи – горох посевной. После уборки предшественника солому измельчили и равномерно распределили по делянкам, затем, согласно схеме опыта, внесли по соломе компенсирующую дозу азота в виде КАС и провели лущение стерни. Через две недели в 1-м блоке провели вспашку, во 2-м – дискование в один след. Озимую рожь высевали в конце второй – начале третьей декады сентября с нормой 60 кг/га (2,6 млн всхожих семян).

Минеральные удобрения внесены в полной дозе, рассчитанной под планируемую урожайность (на супесчаной – N₇₀₊₃₀P₅₀K₉₀; на легкосуглинистой – N₇₀₊₃₀P₂₅K₆₀). Фосфорные и калийные удобрения внесены под основную обработку почвы, азотные – в две подкормки: в начале возобновления ранневесенней вегетации (КАС)

и в фазу первый узел (карбамид); предусмотрен также вариант с внесением N₄₀ в виде карбамида в фазе появления флаг-листа.

Коэффициенты возмещения выноса рассчитывали, как отношение количества поступивших в почву элементов питания с удобрениями и соломой к выносу их с урожаем.

Расчет экономической эффективности применения удобрений проведен по «Методике определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений» [10]. Для определения прибыли рассчитывали стоимость урожая, полученного за счет внесения удобрений, и затраты на получение прибавки урожая от удобрений. Использованы нормативы затрат на удобрения и их внесение, доработку прибавки урожая, цены на сельскохозяйственную продукцию в Республике Беларусь на 2025 г. в долларовом эквиваленте (долл. США). Статистическую обработку результатов осуществляли согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова с использованием MS Excel 2010 [11].

Погодные условия в осенний период вегетации озимой ржи в 2021 г. были неблагоприятными для роста и развития растений (рис.). В результате озимая рожь ушла в зиму в фазе 2–3 листьев. Март был холодным и сухим, холоднее обычного и дождливыми были апрель и май. Благодаря этому озимая рожь хорошо раскустилась. Июнь был суще и теплее обычного, в результате ГТК составил 0,9 при среднемноголетнем 1,5. Погода в июле была близка к норме.

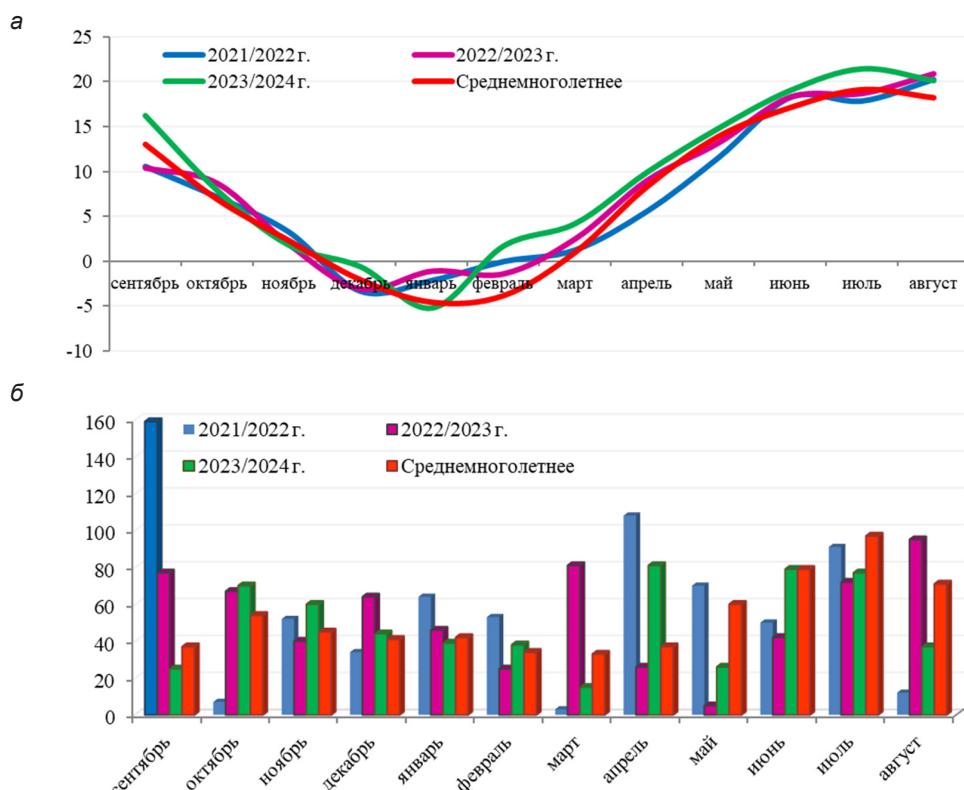


Рис. Погодные условия вегетационных периодов озимой ржи:
а – среднесуточная температура; б – количество выпавших осадков

Погодные условия в осенний период вегетации озимой ржи в 2022 г. были близкими к предыдущему 2021 г., в период вегетации озимой ржи в 2023 г. – значительно отклонялись от нормы. В апреле складывались благоприятные температурные условия для развития возобновивших вегетацию озимых зерновых культур. Обильные осадки в марте 2023 г., составившие 222 % от нормы, обеспечили достаточную влагообеспеченность почвы и в течение апреля, что, наряду с благоприятным температурным режимом (среднемесячная температура апреля превысила многолетний показатель на 1,8 °С), способствовало хорошему кущению озимых зерновых. В мае выпало всего 3 мм осадков. В целом период с засушливыми условиями, когда отсутствовали эффективные осадки (более 5 мм в сутки) составил 79 дней (с 1 апреля по 18 июня). Дефицит влаги в некоторой степени повлиял на урожайность озимой ржи на супесчаной почве.

В осенний период 2023 г. условия увлажнения и температурный режим были благоприятными для всходов озимой ржи и дальнейшего ее развития. На протяжении весенне-летней вегетации в 2024 г. растения не испытывали недостатка влаги и сформировали высокий урожай.

Несмотря на то, что погодные условия в отдельные периоды вегетации озимой ржи существенно отличались от среднемноголетних значений и были неблагоприятны для роста и развития культуры, гибрид КВС Винетто подтвердил свою высокую пластичность и засухоустойчивость. Благодаря быстрому развитию весной мощной корневой системы, гибридная озимая рожь мало пострадала от летней засухи в 2023 г. и сформировала достаточно высокий урожай.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность зерна озимой ржи в неудобренном варианте на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве в среднем за 3 года составила 39,4 ц/га с относительно небольшими колебаниями по годам – от 36,6 до 42,4 ц/га (табл. 1). Внесение минеральных удобрений ($P_{50}K_{90}$ в основное внесение, N_{70} в ранневесеннюю подкормку и N_{30} в фазу начало трубкования) способствовало росту урожайности в 1,9 раза при окупаемости 1 кг NPK 15,0 кг зерна.

Второй год последействия подстилочного навоза КРС в дозе 40 т/га не оказал существенного влияния на урожайность зерна озимой ржи. Запашка соломы гороха (2,9 т/га) без внесения компенсирующей дозы азота (Солома + $P_{50}K_{90}$ + N_{70+30}) также значимо не влияла на урожайность зерна по сравнению с аналогичным вариантом без соломы. За счет запашки соломы гороха с компенсирующей дозой азота (Солома + N_{10} + $P_{50}K_{90}$ + N_{70+30}) в среднем за 3 года урожайность зерна увеличилась на 8,1 ц/га. Третья подкормка (N_{40}) посевов озимой ржи перед выходом флаг-листа существенный прирост урожайности обеспечила только в 2024 г. – 5,9 ц/га, в два предыдущих года отмечалось снижение урожайности на 7,4 ц/га и 5,9 ц/га.

На среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве наиболее благоприятным для формирования урожайности зерна озимой ржи был 2023–2024 гг., на высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве – 2021–2022 гг.

За счет эффективного плодородия легкосуглинистой почвы в среднем за 3 года получено 62,0 ц/га зерна озимой ржи, что на 22,6 ц/га выше, чем на супесчаной

почве. Учитывая очень высокое содержание в почве подвижных форм фосфора и калия дозы фосфорных удобрений снижены на 25 кг/га и калийных на 30 кг/га по сравнению с дозами на среднеокультуренной почве. Внесение $P_{25}K_{60} + N_{70+30}$ способствовало росту урожайности в среднем за 3 года до 90,0 ц/га, что на 28,0 ц/га или 45 % выше, чем в варианте без удобрений, окупаемость 1 кг NPK составила 15 кг зерна. Запашка соломы гороха без компенсирующей дозы азота (Солома + $P_{25}K_{60} + N_{70+30}$) на легкосуглинистой почве не оказала существенного влияния на урожайность по сравнению с минеральным фоном. Внесение компенсирующей дозы азота по соломе по влиянию на урожайность также было неэффективным. Третья подкормка (N_{40}) посевов озимой ржи перед выходом флаг-листа существенный прирост урожайности обеспечила в 2023 и 2024 гг. – 5,2 и 7,5 ц/га, в 2022 г. урожайность была на уровне аналогичного варианта с двумя азотными подкормками.

Таблица 1

Влияние удобрений на урожайность озимой ржи на дерново-подзолистых почвах

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка, ц/га	Окуп. 1 кг NPK, кг зерна
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее		
Дерново-подзолистая супесчаная почва						
Без удобрений	36,6	39,2	42,4	39,4	–	–
$P_{50}K_{90} + N_{70+30}$	78,4	68,9	80,9	76,1	36,7	15
Посл. ПН КРС, 40 т/га + $P_{50}K_{90} + N_{70+30}$	72,5	68,0	88,7	76,4	37,0	15
Солома + $P_{50}K_{90} + N_{70+30}$	74,8	70,3	77,6	74,2	34,8	15
Солома + $N_{10(KAC)} + P_{50}K_{90} + N_{70+30}$	83,6	76,3	87,2	82,3	42,9	17
Солома + $N_{10(KAC)} + P_{50}K_{90} + N_{70+30+40}$	76,2	70,4	93,1	79,9	40,5	14
HCP ₀₅	5,3	5,2	6,2	5,6		
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва						
Без удобрений	68,4	59,4	58,1	62,0	–	–
$P_{25}K_{60} + N_{70+30}$	100,0	85,5	84,4	90,0	28,0	15
Посл. ПН КРС, 40 т/га + $P_{25}K_{60} + N_{70+30}$	95,2	93,1	91,1	93,1	31,1	17
Солома + $P_{25}K_{60} + N_{70+30}$	97,8	85,1	89,1	90,7	28,7	16
Солома + $N_{12(KAC)} + P_{25}K_{60} + N_{70+30}$	95,7	90,9	89,9	92,1	30,1	15
Солома + $N_{12(KAC)} + P_{25}K_{60} + N_{70+30+40}$	95,6	96,1	97,4	96,4	34,4	15
HCP ₀₅	6,8	5,2	6,5	6,2		

Таким образом, за счет эффективного плодородия высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы урожайность зерна озимой ржи в среднем за 3 года была на 57 % выше по сравнению со среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвой. Удобрения способствовали существенному снижению негативного влияния погодных условий и сглаживали роль степени окультуренности почвы: урожайность в удобренных вариантах на высокоокультуренной почве по сравнению со среднеокультуренной почвой была выше на 19 %, в то время как в вариантах без внесения удобрений – на 57 %. Оценивая роль отдельных факторов в формировании урожайности зерна озимой ржи, можно заключить, что в среднем за три года за счет почвенного плодородия высокоокультуренной почвы получено 69 % урожая, за счет применения минеральных

удобрений – 31 %, на среднеокультуренной – 52 % за счет плодородия почвы и 48 % за счет удобрений.

Коэффициент вариации урожайности по годам (2023–2025 гг.) на высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в среднем составил 5,5 %, на среднеокультуренной супесчаной – 7,3 %; коэффициент вариации урожайности в зависимости от систем удобрения составил на легкосуглинистой почве 16,2 %, на супесчаной – 22,7 %.

По настоящее время в республике расчет доз удобрений под планируемую урожайность основывается на концепции расширенного воспроизводства плодородия почв, согласно которой на почвах с содержанием подвижных форм фосфора и калия ниже оптимальных значений расчетные дозы фосфорных и калийных удобрений составляют 120–150 % выноса, при содержании фосфора и калия в почве выше оптимальных параметров – дозы удобрений составляют 50–70 % выноса, при оптимальном содержании фосфора и калия в почве дозы удобрений рассчитываются под 100 % выноса. В 1970–1980 гг., когда плодородие дерново-подзолистых почв было низким, а удобрения были недорогими, такая система применения удобрений была оправдана и позволила наряду с повышением урожая сельскохозяйственных культур значительно поднять плодородие почв республики. В настоящее время при постоянном повышении цен на удобрения, особенно фосфорные, применение удобрений в дозах существенно превышающих вынос элементов питания с урожаем приводит к снижению их окупаемости и рентабельности. Поэтому в современных условиях хозяйствования дозы минеральных удобрений под зерновые культуры должны основываться на критериях экономической и экологической целесообразности при поддержании запасов элементов питания в почвах.

Для установления нормативного выноса элементов питания урожаем гибридной озимой ржи выполнен химический анализ образцов зерна и соломы данной культуры, рассчитан хозяйственный вынос элементов питания с урожаем.

Установлено, что на дерново-подзолистой супесчаной почве в среднем за 3 года в зерне озимой ржи в удобренных вариантах содержание азота составило 1,35–1,51 %, фосфора – 0,55–0,65 %, калия – 0,51–0,64 %, в соломе азот варьировал в пределах 0,39–0,54 %, фосфор – 0,14–0,23 %, калий – 1,20–1,48 %. Хозяйственный вынос минимальным был в неудобренном варианте и составил: азота – 55 кг/га, фосфора – 29 кг/га, калия – 52 кг/га, в удобренных вариантах изменялся в пределах: азота – 114–133 кг/га, фосфора – 45–55 кг/га, калия – 111–129 кг/га (табл. 2).

Таблица 2

Влияние удобрений на хозяйственный и нормативный вынос элементов питания с урожаем озимой ржи

Вариант	Хозяйственный вынос, кг/га			Удельный вынос, кг/т		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Дерново-подзолистая супесчаная почва						
Без удобрений	55	29	52	14,2	7,5	13,4
P ₅₀ K ₉₀ + N ₇₀₊₃₀	114	49	111	14,9	6,4	14,4
Посл. ПН КРС, 40 т/га + P ₅₀ K ₉₀ + N ₇₀₊₃₀	120	47	113	14,9	6,0	13,9

Окончание табл. 2

Вариант	Хозяйственный вынос, кг/га			Удельный вынос, кг/т		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Солома + P ₅₀ K ₉₀ + N ₇₀₊₃₀	109	45	111	15,0	6,2	14,9
Солома + N ₁₀ (KAC) + P ₅₀ K ₉₀ + N ₇₀₊₃₀	131	55	128	16,3	6,8	15,2
Солома + N ₁₀ (KAC) + P ₅₀ K ₉₀ + N ₇₀₊₃₀₊₄₀	133	49	129	16,8	6,3	15,8
Среднее по удобренным вариантам	121	49	118	15,6	6,3	14,8
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва						
Без удобрений	101	53	86	16,2	8,4	13,7
P ₂₅ K ₆₀ + N ₇₀₊₃₀	149	74	139	16,5	8,1	15,2
Посл. ПН КРС, 40 т/га + P ₂₅ K ₆₀ + N ₇₀₊₃₀	173	78	160	18,6	8,4	17,1
Солома + P ₂₅ K ₆₀ + N ₇₀₊₃₀	167	75	163	18,4	8,2	17,7
Солома + N ₁₂ (KAC) + P ₂₅ K ₆₀ + N ₇₀₊₃₀	172	74	161	18,8	8,0	17,3
Солома + N ₁₂ (KAC) + P ₂₅ K ₆₀ + N ₇₀₊₃₀₊₄₀	187	80	162	19,3	8,2	16,7
Среднее по удобренным вариантам	170	76	157	18,3	8,2	16,8

На высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в среднем за 3 года в зерне озимой ржи в удобренных вариантах содержание азота составило 1,58–1,72 %, фосфора – 0,66–0,73 %, калия – 0,47–0,53 %, в соломе: азота – 0,48–0,67 %, фосфора – 0,33–0,40 %, калия – 1,68–1,95 %. Хозяйственный вынос в варианте без удобрений составил: азота – 101 кг/га, фосфора – 53 кг/га, калия – 86 кг/га, в удобренных вариантах изменился в пределах: азота – 149–187 кг/га, фосфора – 74–80 кг/га, калия – 139–163 кг/га.

В результате удельный вынос с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве составил: азота – 15,6 кг, фосфора – 6,3 кг, калия – 14,8 кг. На высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве удельный вынос элементов питания с урожаем гибридной озимой ржи был выше и составил: азота – 18,3 кг/т, фосфора – 8,2 кг/т, калия – 16,8 кг/т. ОПИСХ при определении потребности в минеральных удобрениях под сельскохозяйственные культуры пользуются данными Института почвоведения и агрохимии, где указано, что нормативный вынос с урожаем озимой ржи (сорт) составляет 28,0 кг/т азота, 12,1 кг/т фосфора и 23,3 кг/т калия. Это говорит о том, что справочную таблицу удельных выносов необходимо дополнять данными по выносу отдельно для гибридов сельскохозяйственных культур.

Для расчета оптимальных доз внесения удобрений под планируемую урожайность используется метод коэффициентов возмещения выноса, т.е. компенсация выноса за счет удобрения с корректировкой на уровень содержания соответствующих элементов питания в почве. Установлено, что при возделывании озимой ржи на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве при урожайности зерна 76,1 ц/га и минеральной системе удобрения (P₅₀K₉₀ + N₇₀₊₃₀) коэффициенты возмещения удобрениями выноса составили: азота – 0,9, фосфора – 1,0, калия – 0,8, при органоминеральной системе удобрения – азота и фосфора 1,1–1,4, калия – 1,1–1,6. Это значит, что при минеральной системе удобрения вынос азота с урожаем возмещался на 90 %, калия – на 80 %, фосфора – на 100 %. Органоминеральная система удобрения спо-

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

собствовала поддержанию и умеренному повышению содержания фосфора и калия в почве.

На высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при урожайности зерна озимой ржи 90,0 ц/га и минеральной системе удобрения ($P_{25}K_{60} + N_{70+30}$) коэффициенты возмещения удобрениями выноса составили: азота – 0,7, фосфора – 0,3, калия – 0,4, при органоминеральной системе удобрения – азота 0,8–1,0, фосфора 0,4–0,5, калия – 0,6–0,9. По данным Н. Н. Семененко с соавторами [12] для высокоплодородных дерново-подзолистых почв с очень высоким содержанием фосфора и калия оптимальные коэффициенты возмещения выноса фосфора (P_2O_5) – 0,3 и калия (K_2O) – 0,4.

Рациональность применения различных видов и доз удобрений в сельскохозяйственном производстве должна быть подтверждена не только агрономической, но и экономической эффективностью. Ее главным критерием в растениеводстве является получение максимальной урожайности при минимальных затратах. Экономическую эффективность применения удобрений оценивали такими показателями как чистый доход и рентабельность. Чистый доход на 1 га посевов рассчитывали, как разность между стоимостью урожая, полученного за счет удобрений, и стоимостью затрат на удобрения и доработку урожая.

Стоимость зерна ржи, поставляемого для переработки в муку, в 2025 г. составляла 444,05 руб./т [13]. Пересчет в USD выполнен по курсу 3,00.

Установлено, что при условии реализации зерна озимой ржи для переработки в муку условный чистый доход от применения удобрений в среднем за 3 года на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве составит 261–352 USD/га при рентабельности 99–130 %, на высокоокультуренной легкосуглинистой почве, соответственно, условный чистый доход составил 222–279 USD/га при рентабельности 115–130 % (табл. 3).

Таблица 3
Экономическая эффективность применения удобрений под озимую рожь
на дерново-подзолистых почвах

Вариант	Стоимость урожая за счет применения удобрений, USD/га	Затраты на удобрения и доработку урожая, USD/га	Условный чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
Дерново-подзолистая супесчаная почва				
$P_{50}K_{90} + N_{70+30}$	560	257	302	118
Посл. ПН КРС, 40 т/га + $P_{50}K_{90} + N_{70+30}$	613	266	347	130
Солома + $P_{50}K_{90} + N_{70+30}$	509	249	261	105
Солома + $N_{10(KAC)} + P_{50}K_{90} + N_{70+30}$	629	277	352	127
Солома + $N_{10(KAC)} + P_{50}K_{90} + N_{70+30+40}$	607	304	303	99
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва				
$P_{25}K_{60} + N_{70+30}$	414	193	222	115
Посл. ПН КРС, 40 т/га + $P_{25}K_{60} + N_{70+30}$	460	201	260	130
Солома + $P_{25}K_{60} + N_{70+30}$	425	195	230	118
Солома + $N_{12(KAC)} + P_{25}K_{60} + N_{70+30}$	446	198	247	125
Солома + $N_{12(KAC)} + P_{25}K_{60} + N_{70+30+40}$	509	230	279	121

ВЫВОДЫ

1. Урожайность зерна озимой ржи гибрид КВС Винетто за счет эффективного плодородия среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы в среднем за 3 года составила 39,4 ц/га, высокоокультуренной легкосуглинистой почвы была на 57 % выше – 62,0 ц/га.

Внесение минеральных удобрений $N_{70+30}P_{50}K_{90}$ на среднеокультуренной супесчаной почве и $N_{70+30}P_{25}K_{60}$ на высокоокультуренной легкосуглинистой почве способствовало росту урожайности до 76,1 ц/га (+91 % к контролю) и 90,0 ц/га (+45 %) соответственно при окупаемости 1 кг NPK 15,0 кг зерна. Максимальная урожайность получена при органоминеральной системе удобрения: на среднеокультуренной почве – при внесении $N_{70+30}P_{50}K_{90}$ на фоне запашке соломы с компенсирующей дозой азота (82,3 ц/га), на высокоокультуренной почве – при внесении $N_{70+30+40}P_{25}K_{60}$ на фоне запашке соломы с компенсирующей дозой азота (96,4 ц/га). Удобрения сглаживали роль степени оккультуренности почвы: урожайность в удобренных вариантах на высокоокультуренной почве по сравнению со среднеокультуренной почвой была выше на 19 %.

В среднем за три года за счет почвенного плодородия высокоокультуренной почвы получено 69 % урожая, за счет применения минеральных удобрений – 31 %, на среднеокультуренной – 52 % за счет плодородия почвы и 48 % за счет удобрений.

2. Нормативный вынос с 1 т зерна гибридной озимой ржи и соответствующим количеством соломы на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве составил: азота – 15,6 кг, фосфора – 6,3 кг, калия – 14,8 кг: на высокоокультуренной легкосуглинистой почве был выше и составил: азота – 18,3 кг/т, фосфора – 8,2 кг/т, калия – 16,8 кг/т.

3. Применяемые системы удобрения под гибридную озимую рожь имеют высокую экономическую эффективность: условный чистый доход от применения удобрений в среднем за 3 года на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве составил 261–352 USD/га при рентабельности 99–130 %, на высокоокультуренной легкосуглинистой почве – 222–279 USD/га при рентабельности 115–130 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрович, Э. А. Ржаное поле Беларуси: тенденции и перспективы развития / Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4.– С. 160–164.
2. Урбан, Э. П. Устойчива к любым экономическим рискам / Э. П. Урбан // Сельская газета. – 18.12.2018.
3. Урбан, Э. П. Методика выращивания оригинальных семян озимой ржи / Э. П. Урбан // Земледелие и защита растений. – 2015. – № 3.– С. 24–27.
4. Урбан, Э. П. Особенности биологии и технологии выращивания гибридной ржи / Э. П. Урбан, С. И. Гордей // Земледелие и защита растений. – 2019. – № 6. – С. 3–7.
5. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический букл / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Мин., 2025. – 36 с.

6. Рабочий план проведения осенних полевых работ в сельскохозяйственных организациях республики в 2025. – URL: <https://mshp.gov.by/uploads/Files/documents/plant/RABOChIJ-PLAN-osennego-seva-v-2025-g..pdf> (дата обращения 08.12.2025).
7. Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений // Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений. – Мин., 2025. – С. 8–9.
8. Урбан, Э. П. Состояние селекции, особенности семеноводства и технологии возделывания гибридов F₁ озимой ржи (*Secale cereale L.*) / Э. П. Урбан, С. И. Гордей // Весці Нацыянальнай акаадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63. – № 2.– С. 115–123.
9. Анализ размера и доли рынка ржи – тенденции роста и прогнозы (2025–2030) Source. – URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-rye-market> / (дата обращения 08.12.2025).
10. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич, Г. М. Сафоновская, Н. Д. Терещенко [и др.] ; Институт почвоведения и агрохимии. – Мин., 2010. – 24 с.
11. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
12. Семененко, Н. Н. Урожайность, вынос и коэффициенты возмещения выноса элементов питания в зависимости от погодных условий и применяемой системы удобрения под яровой ячмень / Н. Н. Семененко, О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 120–132.
13. Об установлении фиксированных цен на сельскохозяйственную продукцию (растениеводства) урожая 2025 года, закупаемую для республиканских государственных нужд. – 2025. – URL <https://mshp.gov.by/uploads/Files/prices/postanovlenie2025.25.pdf> (дата обращения 08.12.2025).

THE EFFECT OF THE FERTILIZER SYSTEM AND SOIL CULTIVATION ON THE YIELD AND REGULATORY REMOVAL OF NUTRIENTS BY THE HARVEST OF HYBRID WINTER RYE

T. M. Seraya, E. N. Bahatyrova, T. M. Kirdun,
N. Yu. Zhabrovskaya, E. Y. Gutko

Summary

Three-year studies with hybrid winter rye were conducted on sod-podzolic soils. The grain yield of winter rye hybrid KVS Vinetto due to the effective fertility of medium-cultivated sod-podzolic sandy loam soil for an average of 3 years was 39,4 kg/ha, highly cultivated light loamy soil was 57% higher – 62,0 kg/ha.

The maximum yield was obtained with an organomineral fertilizer system: on medium-cultivated soil – with the application of N₇₀₊₃₀P₅₀K₉₀ against the background of plowing straw with a compensating dose of nitrogen (82,3 c/ha), on highly cultivated soil – with the application of N₇₀₊₃₀₊₄₀P₂₅K₆₀ against the background of plowing straw with a compensating dose of nitrogen (96,4 c/ha).

The standard removal from 1 ton of hybrid winter rye grain and the corresponding amount of straw on medium-cultivated sod-podzolic sandy loam soil was: nitrogen – 15,6 kg, phosphorus – 6,3 kg, potassium – 14,8 kg: on highly cultivated light loamy soil it was higher and amounted to: nitrogen – 18,3 kg/t, phosphorus – 8,2 kg/t, potassium – 16,8 kg/t.

Поступила 08.12.25

УДК 631.847.22

БИОДЕГРАДАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ РИЗОБАКТЕРИЙ *PSEUDOMONAS SPP.* ПО ОТНОШЕНИЮ К ГЛИФОСАТУ

Н. А. Михайлова¹, С. С. Романенко¹, Т. В. Погирницкая¹,
Т. Б. Барашенко¹, С. В. Дюсова¹, А. Л. Новик²

¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время гербицид глифосат (ГФ) широко применяется во всем мире. Общепринятым является мнение, что в почве глифосат быстро инактивируется из-за связывания с глинистыми частицами, а также железом и алюминием в составе оксидов и гидроксидов [1]. Однако ряд исследований показывают, что существует реальная опасность отрицательного последействия глифосата на человека и природу.

При деградации около 70 % глифосата образуется аминометилфосфоновая кислота (АМФК), которая также обладает гербицидным действием, а ее токсическое действие на человека в несколько раз сильнее, чем самого глифосата. В тканях сельскохозяйственных животных, получавших на корм устойчивые к действию гербицида генно-модифицированные кормовые культуры, зарегистрировано от 0,05 до 1,6 мг/кг глифосата. Особенно высокая концентрация его обнаруживается в почках и печени [2].

В опытах как на клеточных культурах, так и на животных (*in vivo*) была установлена способность даже небольших концентраций глифосата вызывать окислительный (оксидативный) стресс. Это связано со способностью ГФ связывать ряд ионов (марганца, меди, кобальта, железа, цинка, кальция и магния), что ведет к нарушению функций митохондрий, нарушению процесса окислительного фосфорилирования и образованию больших количеств активных форм кислорода [3].

Целый ряд эпидемиологических исследований выявил тесную корреляцию между возросшим применением глифосата и повышением частоты выявления таких нарушений со стороны нервной системы, как развитие аутизма и старческого слабоумия. Авторы связывают это со способностью глифосата вызывать