

Научная статья

УДК 631.559:633.14:631.438

**ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ РЖИ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА
В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ**¹Валерий Александрович Анищенко, ¹Людмила Алексеевна Воробьева,²Евгений Владимирович Смольский¹Новозыбковская СХОС – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»,
Брянская область, Опытная станция, Россия²ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. В результате исследований влияния изменяющихся условий окружающей среды и применения макроудобрения на экологическую реакцию озимой ржи, выраженную в количественных показателях продуктивности и качественных показателях полученной продукции растениеводства, проводимых в период 2021-2023 годов в условиях радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада Брянской области. Почва опытного участка характеризуется повышенным содержанием гумуса, очень высоким подвижного фосфора, средним подвижного калия, кислотность – среднекислая. Установлена значительная роль условий окружающей среды в изменчивости урожайности зерна и незначительная - в сборе соломы озимой ржи. Наибольшая урожайность зерна озимой ржи 3,42 т/га получена в избыточно влажных условиях окружающей среды при применении макроудобрения в дозе $N_{90}P_{60}K_{90}$, а наибольший сбор 9,6 т/га соломы озимой ржи получен в слабо засушливых условиях при применении макроудобрения в дозе $N_{90}P_{60}K_{90}$. Установили незначительную роль условий среды и действия макроудобрений на изменчивость содержания белка в зерне и значительную в изменчивости показателя выхода белка. Выявили тенденцию повышения содержания белка в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения. Определили среднюю роль условий окружающей среды на изменчивость содержания нитратов в зерне озимой ржи и значительную на изменчивость содержания ^{137}Cs . Выявили тенденцию повышения содержания нитратов и снижения содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи под действием совершенствования технологического приёма применения макроудобрения.

Ключевые слова: озимая рожь, условия среды, продуктивность, зерно, солома, белок, макроудобрения, радиоактивное загрязнение, нитраты.

Для цитирования: Анищенко В.А., Воробьева Л.А., Смольский Е.В. Продуктивность озимой ржи и качество зерна в условиях радиоактивно загрязненных песчаных почв // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 18-23.

Original article

**WINTER RYE PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY IN CONDITIONS OF
RADIOACTIVELY CONTAMINATED SANDY SOILS**¹Valery A. Anishchenko, ¹Lyudmila A. Vorob'yova, ²Evgeny V. Smol'sky¹Novozybkov AES –the branch of FSC «All-Russia Williams Fodder Research Institute», Bryansk Region,
Experimental Station, Russia²Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. As a result of researches carried out in the period 2021-2023 in conditions of radioactively contaminated sod-podzolic sandy soils of the south-west of the Bryansk region, the impact of changing environmental conditions and the use of macro fertilizer on the ecological reaction of winter rye, expressed in quantitative indicators of productivity and qualitative indicators of the obtained crop production was discovered. The soil of the experimental plot is characterized by a high contents of humus, a very high contents of mobile phosphorus, medium contents of mobile potassium, and acidity is medium. A significant role of environmental conditions in the variability of grain yields and insignificant in the collection of winter rye straw has been established. The highest yields of winter rye grain is 3.42 t/ha obtained in excessively humid environmental conditions when using macro fertilizer at a dose of $N_{90}P_{60}K_{90}$, and the highest harvest of 9.6 t/ha of winter rye straw is obtained in slightly dry conditions when using macrofertilizer at a dose of $N_{90}P_{60}K_{90}$. An insignificant role of environmental conditions and the action of macro fertilizers on the variability of the protein content in the grain and a significant role in the variability of the protein yields indicator was established. We revealed a tendency to increase the protein content in winter rye grain under the influence of improving the technological technique for using macro fertilizer. The average role of environmental conditions on the variability of nitrate content in winter rye grain and significant on the variability of ^{137}Cs content was determined. A tendency to increase the contents of nitrates and reduce the contents of ^{137}Cs in winter rye grain under the influence of improving the technological technique for the use of macro fertilizer was revealed.

Key words: winter rye, environmental conditions, productivity, grain, straw, protein, macro fertilizers, radioactive contamination, nitrates.

For citation: Anishchenko V.A., Vorob'yova L.A., Smolsky E.V. Winter rye productivity and grain quality in conditions of radioactively contaminated sandy soils // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 18-23.

Введение. Производство продукции растениеводства происходит в постоянно изменяющихся условиях окружающей среды, которые в зависимости от биологии сельскохозяйственного растения могут быть оптимальными или лимитирующими для него, поэтому изучения реакция различных видов сельскохозяйственных культур на температурные, почвенные условия, а также к условиям влагообеспеченности необходима для подбора культур при проектировании систем земледелия [1-4].

Разработка и внедрение в производство адаптированных элементов технологий, которые в условиях радиоактивного загрязнения, низкого естественного плодородия песчаных почв обеспечивают получения высоких и стабильных урожаев основной продукции сельскохозяйственных культур и высоких показателей качества [5-8].

Цель исследований – изучить роль изменяющихся условий окружающей среды и элемента технологии возделывания озимой ржи в формировании продуктивности и качества зерна в условиях радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада Брянской области.

Материалы и методы исследования. В условиях Опытной станции Новозыбковского района Брянской области РФ, расположенной в Клинецовско-Новозыбковском районе задровых равнин Новозыбковского ландшафта, изучали экологическую реакцию озимой ржи (урожайность, качественные показатели) на изменяющиеся условия внешней среды при различных дозах макроудобрения. Эксперимент проводили в период 2021-2023 годов в восьмипольном севообороте (люпин на зеленую массу – озимая рожь – картофель – овес – горох – озимая рожь – люпин на зерно – просо) на дерново-подзолистой песчаной почве, которая характеризовалась повышенным содержанием гумуса, очень высоким подвижного фосфора, средним подвижного калия, среднекислая. Плотность загрязнения ^{137}Cs территории опытного участка в период исследований – 560-700 кБк/м².

Объект исследования – озимая рожь, сорт Новозыбковская 150, предшественник люпин на зеленую массу.

Схема применения макроудобрения: 1. Контроль (без применения макроудобрения); 2. Навоз 20 т + N₆₀P₄₅K₆₀; 3. Навоз 20 т + N₉₀P₆₀K₉₀. В качестве минеральной части макроудобрений использовали аммиачную селитру, простой суперфосфат и калий хлористый, в качестве органической части – подстилочный навоз КРС. Проводили сидерацию всей массы люпина общим фоном.

По данным метеорологического поста Новозыбковской СХОС агроклиматические ресурсы контрастно различались в период исследований, 2021 год исследований был избыточно влажным, 2022 год – слабо засушливым, 2023 года – засушливым.

Агротехника в опытах при возделывании озимой ржи общепринятая для Нечерноземной зоны РФ.

Содержание сырого белка определяли пересчетом $\text{N}_{\text{общ}} \times 5,83$.

Удельную активность ^{137}Cs определяли используя УСК «Гамма плюс» с программным обеспечением «Прогресс-2000» в геометрии «Маринелли».

Статистическую обработку результатов исследования определяли методами дисперсионного и вариационного анализов.

Результаты и их обсуждение. В период исследований гидротермические условия окружающей среды контрастно различались по годам. Экологическая реакция озимой ржи, выраженная в урожайности зерна и сборе соломы, была различной, в тоже время различные дозы макроудобрений по-разному действовали на продуктивность озимой ржи в изменяющихся условиях. На контрольном варианте максимальная 1,46 т/га урожайность зерна озимой ржи была получена в избыточно влажных условиях среды, установили значительную изменчивость урожайности зерна по годам исследований под действием изменяющихся условий среды, коэффициент вариации равен 21,8 %. Максимальный 3,4 т/га сбор соломы озимой ржи получен в слабо засушливых условиях среды, установили незначительную изменчивость сбора соломы под действием изменяющихся условий среды в период исследований, коэффициент вариации равен 7,9 % (табл. 1).

Таблица 1 – Продуктивность озимой ржи в изменяющихся условиях среды, т/га

Вариант	Год исследования			V, %
	2021	2022	2023	
зерно				
Контроль	1,46	1,11	0,96	21,8
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	3,15	2,81	2,02	21,8
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	3,42	3,09	2,39	17,7
НСР ₀₅	0,14	0,18	0,20	–
солома				
Контроль	3,2	3,4	2,9	7,9
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	9,2	8,7	5,1	29,2
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	9,2	9,6	6,5	20,0
НСР ₀₅	0,4	0,6	0,6	–

Применение макроудобрения повышало урожайность зерна озимой ржи в 2,1-2,8 раза в сравнении с контрольным вариантом в зависимости от дозы макроудобрения и года исследования. Наблюдали одинаковую реакцию растений озимой ржи в изменении урожайности зерна в изменяющихся условиях при применении макроудобрения, в условиях избыточной влажности, слабо засушливых и засушливых условиях исследуемые дозы N₆₀P₄₅K₆₀ и N₉₀P₆₀K₉₀ достоверно повышали урожайность как в сравнении с контрольным вариантом, так и достоверно различались между собой в повышении урожайности зерна. Установили, что с увеличением доз макроудобрений показатель изменчивость урожайности по годам исследований снижается до среднего уровня, коэффициент вариации равен 17,7 %, это говорит о возможности с помощью элемента технологии (внесение макроудобрения) сглаживать негативные условия окружающей среды (табл. 1).

Наблюдали различную реакцию растений в сборе соломы в изменяющихся условиях при применении макроудобрения, в условиях избыточной влажности обнаружили значимую разницу в сборе соломы между исследуемыми дозами макроудобрения и контролем, разницы между дозами исследуемых макроудобрения в повышении сбора соломы не выявили. В слабо засушливых и засушливых условиях, установили достоверное повышение сбора соломы от каждой из исследуемой дозы макроудобрения, как в сравнении с контрольным вариантом, так и в сравнении между исследуемыми вариантами доз макроудобрения (табл. 1).

В период исследований средний показатель урожайности зерна и сбора соломы озимой ржи охватывает контрастный набор условий окружающей среды, поэтому показатели продуктивности сельскохозяйственной культуры отражают потенциал продуктивности территории юго-запада Брянской области при совершенствовании различных элементов технологии.

Увеличение доз макроудобрения в среднем за годы исследования достоверно повышало урожайность зерна и сбор соломы озимой ржи соответственно от 2,3 до 2,5 раз и от 2,4 до 2,6 раз в сравнении с контрольным вариантом, при этом достоверной разницы в повышении урожайности зерна и сбора соломы между дозами макроудобрений не обнаружили (табл. 2).

Таблица 2 – Агрономическая эффективность средней продуктивности озимой ржи, т/га

Вариант	Среднее	Прибавка, т/га	Окупаемость, кг / кг д.в.
зерно			
Контроль	1,18	–	–
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	2,66	1,48	8,97
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	2,97	1,79	7,44
НСР ₀₅	0,45	–	–
солома			
Контроль	3,2	–	–
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	7,6	4,4	27,1
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	8,4	5,2	21,8
НСР ₀₅	2,4	–	–

Агрономическую эффективность применения макроудобрения выражали через отношение количества прибавки урожая зерна и сбора соломы, полученной от количества макроудобрения. Выявили, что повышение доз макроудобрения снижает выход основной и побочной продукции растениеводства. Наибольшая окупаемость 1 кг д. в. макроудобрения прибавкой урожая зерна и сбора соломы озимой ржи получена при использовании дозы N₆₀P₄₅K₆₀, которая соответственно равна 8,97 и 27,1 кг на кг д.в.

В период исследований 2021-2023 годов при возделывании озимой ржи наблюдали контрастные условия окружающей среды, что отразилось на показателях качества продукции растениеводства и действии макроудобрения по их изменению.

На контрольном варианте, максимальное содержание белка 13,58 % в зерне озимой ржи и выход белка 198,3 кг/га получили в условиях избыточного увлажнения среды, наблюдали незначительную изменчивость показателя содержание белка и значительную изменчивость показателя выход белка по годам исследования, коэффициент вариации равен соответственно 2,7 и 24,3 % (табл. 3).

В период проведения исследований совершенствование технологического приёма применения макроудобрения с целью повышения содержания белка в зерне озимой ржи не имело результата, так как наблюдали только тренд к повышению содержания белка в зерне озимой ржи под действием макроудобрения, значимого повышения не обнаружили (табл. 3).

Таблица 3 – Накопление белка посевами озимой ржи в изменяющихся условиях среды

Вариант	Год исследования			Среднее	V, %
	2021	2022	2023		
содержание белка, %					
Контроль	13,58	13,35	12,88	13,27	2,7
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	13,82	13,52	13,23	13,52	2,2
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	13,99	13,81	13,29	13,70	2,7
HCP ₀₅	0,87	0,85	0,76	–	–
выход белка, кг/га					
Контроль	198,3	148,2	123,6	156,7	24,3
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	435,3	379,9	267,2	360,8	23,7
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	478,5	426,7	317,6	407,6	20,1

Установили, что совершенствование технологического приёма применения макроудобрения снижает изменчивость показателя выход белка в период исследований, коэффициент вариации снизился с 24,3 до 20,1 %. Наибольшее содержание белка 13,99 % и выход белка 478,5 кг/га получены в условиях избыточного увлажнения среды 2021 года при применении макроудобрения в дозе N₉₀P₆₀K₉₀ (табл. 3).

В среднем за годы исследования выявили тенденцию повышения содержания белка в зерне озимой ржи с 13,27 до 13,70 % и выхода белка с 156,7 до 407,6 кг/га под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения (табл. 3).

В условиях почв легкого гранулометрического состава, промывного или периодически промывного водного режима и применение несбалансированных и высоких доз азотного удобрения ведет к повышению содержания нитратов в основной продукции растениеводства. Предельно допустимой концентрацией (ПДК) нитратов в зернофураже и продуктах переработки зерна – 300 мг/кг.

Контрастные условия окружающей среды при возделывании озимой ржи, средне изменяли содержание нитратов в зерне, коэффициент вариации равен 11,0 %. Совершенствование применения макроудобрения не влияло на изменчивость содержания нитратов в зерне (табл. 4).

Таблица 4 – Накопление токсикантов в зерне озимой ржи в изменяющихся условиях среды

Вариант	Год исследования			Среднее	V, %
	2021	2022	2023		
нитраты, мг/кг					
Контроль	39	32	39	36,7	11,0
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	37	32	41	36,7	12,3
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	38	32	41	37,0	12,4
HCP ₀₅	11	5	6	–	–
¹³⁷ Cs, Бк/кг					
Контроль	20	21	29	23,3	21,1
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	14	11	13	12,7	12,1
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	12	10	10	10,7	10,8
HCP ₀₅	6	7	6	–	–

Максимальное содержание нитратов 39 мг/кг в зерне озимой ржи на контрольном варианте было получено в условиях избыточного увлажнения и засушливых условиях среды, при этом превышение ПДК не обнаружили. Обнаружили, что макроудобрения в исследуемых дозах не изменяют содержания нитратов в зерне озимой ржи вне зависимости от условий года, достоверного изменения

содержания нитратов в зерне под действием совершенствования применения макроудобрения в сравнении с контролем не выявили (табл. 4).

В среднем за годы исследования выявили тенденцию повышения содержания нитратов в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения.

В условиях радиоактивного загрязнения территории главным показателем использования основной продукции растениеводства в качестве продуктов питания и сырья для изготовления продуктов питания, а также в кормлении сельскохозяйственных животных является уровень содержания ^{137}Cs , допустимый уровень ^{137}Cs для зерна на пищевые цели – 60 Бк/кг, на кормовые – 180 Бк/кг.

При возделывании озимой ржи установили значительную изменчивость содержания ^{137}Cs в зерне под влиянием изменяющихся условий окружающей среды, коэффициент вариации равен 21,1 %, совершенствования технологического приёма применения макроудобрения снижало роль условий среды на накопление ^{137}Cs в зерне до среднего, коэффициент вариации равен 10,8-12,1 %.

На контрольном варианте максимальное содержание ^{137}Cs 29 Бк/кг в зерне озимой ржи было получено в засушливых условиях среды, при этом превышение допустимого уровня не обнаружили. Обнаружили, что действие макроудобрения на изменение содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи в различных условиях среды разное. В условиях избыточного увлажнения совершенствование технологического приёма применения макроудобрения имело результат только при дозе $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$, когда наблюдали достоверное снижение содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи в сравнении с контролем, при этом достоверного снижения содержания ^{137}Cs в зерне между дозами макроудобрения не обнаружили.

В слабо засушливых и засушливых условиях совершенствование технологического приёма применения макроудобрения имело положительный результат уже при дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{45}\text{K}_{60}$, наблюдали достоверное снижения содержания ^{137}Cs в сравнении с контролем, при этом значимой разницы между дозами макроудобрений в снижения содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи не выявили (табл. 4).

В среднем за годы исследования выявили тенденцию снижения содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения.

Заключение. В результате проведенных исследований по оценки значения изменяющихся условий среды и элемента технологии возделывания в формировании продуктивности озимой ржи и качества зерна в условиях радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада Брянской области установили, значительную роль условий среды в изменчивости урожайности зерна и незначительную в сборе соломы озимой ржи. Применение макроудобрения снижает роль условий среды в изменчивости урожайности зерна и повышает роль условий среды в изменчивости сбора соломы озимой ржи, поэтому возможно в не некоторой степени сгладить негативные последствия негативного действия агроклиматических условия. Наибольшая урожайность зерна озимой ржи 3,42 т/га получена в избыточно влажных условиях окружающей среды при применении макроудобрения в дозе $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$, а наибольший сбор 9,6 т/га соломы озимой ржи получен в слабо засушливых условиях при применении макроудобрения в дозе $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$.

Установили, что при возделывании озимой ржи роль условий среды и действия макроудобрений на изменчивость содержание белка в зерне незначительная. В тоже время обнаружили значительную роль условий среды и действия макроудобрений на изменчивость показателя выхода белка. Выявили тенденцию повышения содержания белка в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения.

Определили среднюю роль условий окружающей среды на изменчивость содержания нитратов в зерне при возделывании озимой ржи. Выявили тенденцию повышения содержания нитратов в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения.

Установили значительную роль условий окружающей среды на изменчивость содержания ^{137}Cs в зерне при возделывании озимой ржи. Выявили тенденцию снижения содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения.

Список источников

1. Озимые зерновые культуры на юго-западе России: учеб. пособие / В.Е. Ториков, И.Н. Белоус, С.А. Бельченко и др. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. 137 с.
2. Жученко А.А. Рожь – стратегическая культура в обеспечении продовольственной безопасности России в условиях глобального и локального изменения погодно-климатических условий. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2009. 52 с.
3. Сысуев В.А. Комплексные научные исследования по озимой ржи – важнейшей национальной и стратегической зерновой культуре РФ // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 6. С. 8-12.

4. Теоретические и практические аспекты возделывания озимой ржи в Брянской области: монография / С.М. Пакшина, Г.П. Малявко, И.Н. Белоус, А.Е. Кольхалина. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2017. 97 с.

5. Принципы ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур в условиях юго-запада центрального региона России / О.В. Мельникова, В.Е. Ториков, В.Н. Репникова, Д.М. Мельников // Вестник Брянской ГСХА. 2022. № 2. С. 9-8.

6. Действие системы удобрений и погодных условий на урожайность озимой ржи в севообороте в условиях юго-запада Нечерноземной зоны / В.Б. Коренев, И.Н. Белоус, Л.А. Воробьева, Г.Л. Яговенко // Земледелие. 2015. № 7. С. 34-36.

7. Малявко Г.П., Белоус И.Н., Шаповалов В.Ф. Эффективность аг-рохимических средств при возделывании озимой ржи на техногенно загрязненной почве // Вестник Брянской ГСХА. 2019. № 6 (76). С. 3-8.

8. Шаповалов В.Ф. Система удобрений озимой ржи при радиоактивном загрязнении почвы // Плодородие. 2005. № 4 (25). С. 35-37.

Информация об авторах

В.А. Анищенко – аспирант, Новозыбковская СХОС - филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», ngsos-vniia@yandex.ru

Л.А. Воробьева – кандидат сельскохозяйственных наук, Новозыбковская СХОС - филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса».

Е.В. Смольский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, sev_84@mail.ru.

Information about the authors

V.A. Anishchenko – postgraduate student, Novozybkov Agricultural Experimental Station – Branch of Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, ngsos-vniia@yandex.ru.

L.A. Vorob'eva – Candidate of Agricultural Sciences, Novozybkov Agricultural Experimental Station – Branch of Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology.

E.V. Smol'sky – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University, sev_84@mail.ru.

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.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 20.09.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024.

The article was submitted 20.09.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024.

© Анищенко В.А., Воробьева Л.А., Смольский Е.В.