

АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО
AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT
АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.8:631.559:633.14:631.445.2:539.16

**ДЕЙСТВИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ
И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ
В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ¹³⁷Cs**

¹Василий Николаевич Адамко, ¹Валерий Александрович Анищенко,

¹Людмила Алексеевна Воробьева, ²Виктор Федорович Шаповалов

¹Новозыбковская СХОС – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»,

Брянская область, Опытная станция, Россия

²ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Предоставлены результаты многолетних исследований в стационарном, полевом опыте по изучению эффективности применения минеральных удобрений различной степени насыщенности, органических и зеленых удобрений и их влияние на урожайность и качественные показатели зерна озимой ржи, возделываемой в плодосменном севообороте на дерново-подзолистой радиоактивно загрязненной песчаной почве, при плотности радиоактивного загрязнения свыше 15 Ки/км², в отдаленный период после аварии на ЧАЭС. Показано, что максимальный урожай зерна озимой ржи 1.75 т/га в среднем за годы проведения исследований достоверно обеспечило применение оптимальной системы удобрения – навоз 20 т/га, N₁₂₀P₉₀K₁₂₀ + пожнивно-корневые остатки люпина, при окупаемости НРК, прибавкой урожая 1,8 кг/га и величиной удельной активности Цезия 137-го в урожае товарной продукции на уровне 28 Бк/кг, при нормативе 180 Бк/га. Под влиянием изучаемых систем удобрений, отмечено повышения белковости зерна озимой ржи. Наиболее высокое содержание белка в зерне озимой ржи 14,52 % было получено в среднем в оптимальном по удобренности варианте – Навоз 20 т/га, N₁₂₀P₉₀K₁₂₀ + пожнивно-корневые остатки люпина, при величине его сбора с единицы площади 0,25 т/га. Концентрация остаточных нитратов по изучаемым системам удобрений, изменялась от 12,0 до 12,3 Мг/кг, достигая максимума в варианте - навоз 20т/га, N₁₂₀P₉₀K₁₂₀ + пожнивно-корневые остатки люпина (при ПДК – 250 Мг/кг). Отмечено так же, изменение содержания в урожае товарной продукции озимой ржи макроэлементов – P₂O₅, K₂O и Ca в варианте с оптимальной по удобренности системе удобрения навоз 20 т/га, N₁₂₀P₉₀K₁₂₀ + пожнивно-корневые остатки люпина.

Ключевые слова: озимая рожь, минеральные, органические, зеленые, удобрения, урожайность, качество, накопление, ¹³⁷Cs.

Для цитирования: Действие длительного применения удобрений на продуктивность и качество зерна озимой ржи при возделывании на дерново-подзолистой песчаной почве в условиях радиоактивного загрязнения ¹³⁷Cs / В.Н. Адамко, В.А. Анищенко, Л.А. Воробьева, В.Ф. Шаповалов // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 3 (103). С. 3-7.

Original article

EFFECT OF LONG-TERM APPLICATION OF FERTILIZERS ON THE PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY OF WINTER RYE WHEN CULTIVATING ON SODD-PODZOL SANDY SOIL UNDER THE CONDITIONS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION WITH ¹³⁷Cs

¹Vasily N. Adamko, ¹Valery A. Anishchenko, ¹Lyudmila A. Vorob'yova, ²Viktor .F. Shapovalov

¹Novozybkov AES –the branch of FSC «All-Russia Williams Fodder Research Institute»,

Bryansk Region, Experimental Station, Russia

²Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. The results of long-term researches in stationary field experience on the study of the effectiveness of applying mineral fertilizers of various saturation degrees, organic and green fertilizers on the yields and quality indicators of winter rye grain cultivated in a fruit-bearing crop rotation on sod-podzolic radioactively contaminated sandy soil with a density of radioactive contamination over 15 Ki/km² in a remote period after the Chernobyl accident are provided. It is shown that the maximum yields of winter rye grain of 1.75 t/ha on average the years of researches reliably ensured using an optimal fertilizer system –

manure 20 t/ha, $N_{120}P_{90}K_{120}$ + crop-root lupine residues, at a payback of NPK, an increase in the yield of 1.8 kg/kg and the value of the specific activity of Caesium 137 in the yield of marketable products at the level of 28 Bq/kg, at a standard of 180 Bq/ha. Under the influence of the studied fertilizer systems, an increase in the protein content of winter rye grain was noted. The highest protein content in winter rye grain of 14.52% was obtained on average in the optimal fertilization variant – Manure 20 t/ha, $N_{120}P_{90}K_{120}$ + crop-root lupine residues at the value of its collection per area unit of 0.25 t/ha. A concentration of residual nitrates in the studied fertilizer systems varied from 12.0 to 12.3 Mg/kg, reaching a maximum in the variant - Manure 20 t/ha, $N_{120}P_{90}K_{120}$ + crop-root lupine residues (at MPC – 250 Mg/kg). There was also a change in the content of macronutrients in the harvest of marketable winter rye products – P_2O_5, K_2O and Ca in the variant with the optimal fertilization system of Manure 20 t/ha, $N_{120}P_{90}K_{120}$ + crop-root lupine residues.

Key words: winter rye, mineral, organic, green, fertilizers, yields, quality, accumulation, ^{137}Cs .

For citation: Effect of long-term application of fertilizers on the productivity and grain quality of winter rye when cultivating on sodd-podzol sandy soil under conditions of radioactive contamination with ^{137}Cs / V.N. Adamko, V.A. Anishchenko, L.A. Vorob'yova, V.F. Shapovalov // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. 3 (103). 3-7.

Введение. Озимая рожь, как важнейшая и самая распространенная из всех зерновых хлебов культура на низкоплодородных почвах дерново-подзолистого типа, легкого гранулометрического состава. Обладает способностью формировать относительно высокие урожаи товарного зерна, что ставит его в ряд культур низкого экономического риска. На низко плодородных почвах дерново-подзолистого типа с невысоким содержанием гумуса необходимо применение удобрений, что является одним из важнейших условий повышения уровня продуктивности озимой ржи и других озимых зерновых культур [1,2,3]. Система применения удобрений в условиях радиоактивного загрязнения агроценозов оказывает значительное влияние на поступление радионуклидов в растения и размеры их накопления в урожае товарной продукции [4]. Учитывая это, применяемые системы удобрения должны способствовать снижению поступления радионуклидов в растения в течение вегетационного периода [5]. Рядом исследований установлено, что применение минеральных и органических удобрений на почвах с низким уровнем плодородия легкого гранулометрического состава значительно снижает поступление радионуклидов в растения возделываемых культур, включая и озимую рожь [6].

Цель исследований – изучение эффективности длительного применения сочетаний органических и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи.

Методика исследования. Исследования проводили в длительном стационарном опыте, заложенном в 1954-1955 годах на опытном поле Новозыбковской сельскохозяйственной опытной станции - филиал ФНЦ ВИК им. В.Р. Вильямса в севообороте со следующим чередованием культур: 1. Люпин – зеленое удобрение; 2. Озимая рожь; 3. Картофель; 4. Овес; 5. Сераделла; 6. Озимая рожь; 7. Люпин на зерно; 8. Ячмень. Приведены результаты исследований за седьмую ротацию севооборота (2005-2013 г.)

Почва дерново-подзолистая, песчаная, мощность пахотного горизонта 15-20 см. Агрохимические показатели пахотного горизонта в начале седьмой ротации севооборота: гумус (по Тюрину) – 1,27-1,98 %, рНкcl – 4,3-4,6 ед.; Нг (по Каппену-Гильковицу) – 2,2-3,1 мг – экв/100 г почвы; Плотность загрязнения ^{137}Cs опытного участка – 560-700 Бк/км²

Размер посевной делянки – $38,4 \times 7,2 = 276,48$ м², учетная – $5,2 \times 30 = 156$ м². Повторность опыта трехкратная.

В опыте применялись следующие виды минеральных удобрений: аммиачная селитра, суперфосфат простой гранулированной, калий хлористый. Органическое удобрение было представлено подстилочный навоз крупного рогатого скота (КРС) с содержанием элементов питания (среднее за 2005-2012): N – 0,32%, P_2O_5 – 0,18%, K_2O – 0,27%, удельная активность ^{137}Cs навоза КРС – 137-1310 Бк/кг и люпином на зеленые удобрения.

Фосфорное удобрение вносили осенью в предпосевную культивацию почвы, калийные удобрения – осенью под культивацию и весной в подкормку, азотное удобрение – весной в подкормку. Навоз КРС вносили осенью под вспашку. В качестве зеленых удобрений использовали люпин, часть зеленой массы люпина запахивали на месте роста и часть убирали на корм скоту.

Объектом исследования в опыте являлась озимая рожь, сорт Пуховчанка. Норма высева 5,5 млн. всхожих зерен на 1 га.

Предпосевную подготовку почвы и уход за растениями в опыте осуществляли с учетом технологии, рекомендованной для дерново-подзолистых песчаных почв.

Погодные условия в годы исследований существенно различались по увлажнению и теплообеспеченности. Так 2007, 2010 и 2011 гг. были засушливыми и отличались низким запасом продуктивной

влаги в почве, неравномерным распределением весенне-летних осадков и более высокой температурой воздуха в первой половине весенней вегетации растений, что отрицательно сказалось на урожайности культуры. Так же стоит отметить годы (2005, 2006, 2009 и 2012 гг.) которые характеризовались достаточным количеством осадков и температурой воздуха близкой к среднегодовым значениям.

Результаты исследований. Средняя урожайность зерна озимой ржи за 7-ую ротацию (2005-2012 гг.) проведения исследований представлена в таблице 1. Урожайность зерна озимой ржи в контрольном варианте, в среднем за годы проведенных исследований при запашке люпина на зелёное удобрение, составила 0,88 т/га. Применение минерального удобрения в дозе $N_{90}P_{60}K_{90}$ с запашкой люпина на зеленое удобрение достоверно увеличивает урожайность зерна на 0,47 т/га (вариант 4). Внесение органических удобрений в дозе 20 т/га в дополнение к дозе $N_{90}P_{60}K_{90}$ и запашке люпина на зелёное удобрение увеличивает урожайность зерна до 1,58 т/га (вариант 2). В варианте 6, где на месте возделывания люпина использовали только навоз и минеральное удобрение урожайность зерна озимой ржи возросла на 0,67 т/га, что свидетельствует о более слабом эффекте люпина на зеленое удобрение при использовании навоза.

Таблица 1 – Влияние минерального и различных видов органического удобрения на урожайность зерна озимой ржи, т/га (среднее за 2005-2012 гг.)

| Вариант | Урожайность т/га | Прибавка, т/га | Окупаемость НРК прибавкой урожая, кг /кг |
|--|---------------------|-------------------|--|
| 1 Навоз 20 т/га $N_{120}P_{90}K_{120}$ + люпина на зеленое удобрение | 1,78 | 0,90 | 1,86 |
| 2 Навоз 20 т/га $N_{90}P_{60}K_{90}$ + люпина на зеленое удобрение | 1,58 | 0,70 | 1,78 |
| 3 Навоз 20 т/га $N_{60}P_{60}K_{60}$ + люпина на зеленое удобрение | 1,43 | 0,55 | 1,65 |
| 4 $N_{90}P_{60}K_{90}$ + люпина на зеленое удобрение | 1,35 | 0,47 | 1,19 |
| 5 Контроль – люпина на зеленое удобрение | 0,88 | - | - |
| 6 Навоз 20 т/га $N_{90}P_{60}K_{90}$ | 1,55 | 0,67 | 1,70 |
| 7 Навоз 20 т/га $N_{90}P_{60}K_{90}$ | 1,53 | 0,65 | 1,65 |
| 8 Навоз 20 т/га $N_{120}P_{90}K_{120}$ | 1,75 | 0,87 | 1,80 |
| НСР ₀₅ | 0,20 | | |

Применение минерального удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ совместно с навозом и люпином на зелёное удобрение (вариант 3) достоверно увеличивает урожайность зерна до 1,43 т/га.

Максимальные дозы минерального удобрения $N_{120}P_{90}K_{120}$ в сочетании с навозом достоверно увеличивали урожайность зерна в сравнении с контролем до 1,75 т/га (вариант 8, прибавка 0,87 т/га), добавление зеленого удобрения (вариант 1) достоверно увеличивало урожайность до 1,78 т/га, однако прибавка от зеленого удобрения была на уровне 0,03 т/га.

Полученные данные свидетельствуют, что зеленое удобрение при использовании навоза и минерального удобрения незначительно влияет на увеличение урожайности, наблюдали тенденцию к повышению, достоверной закономерности не обнаружили (табл. 1).

При возделывании сельскохозяйственных культур на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению, важным показателем качества продукции растениеводства является соответствие нормативным требованиям содержание ^{137}Cs . Удельная активность ^{137}Cs в зерне озимой ржи, в среднем за годы исследования, представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Удельная активность ^{137}Cs зерна озимой ржи в зависимости от систем удобрения (среднее 2005-2012 гг.)

| Вариант | Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг | \pm к контролю | Кратность снижения |
|--|---|---------------------|-----------------------|
| 1 Навоз 20 т/га $N_{120}P_{90}K_{120}$ + люпина на зеленое удобрение | 26 | -29 | 2,1 |
| 2 Навоз 20 т/га $N_{90}P_{60}K_{90}$ + люпина на зеленое удобрение | 27 | -28 | 2,0 |
| 3 Навоз 20 т/га $N_{60}P_{60}K_{60}$ + люпина на зеленое удобрение | 34 | -21 | 1,6 |
| 4 $N_{90}P_{60}K_{90}$ + люпина на зеленое удобрение | 34 | -21 | 1,6 |
| 5 Контроль – люпина на зеленое удобрение | 55 | - | - |
| 6 Навоз 20 т/га $N_{90}P_{60}K_{90}$ | 33 | -22 | 1,7 |
| 7 Навоз 20 т/га $N_{90}P_{60}K_{90}$ | 28 | -27 | 2,0 |
| 8 Навоз 20 т/га $N_{120}P_{90}K_{120}$ | 28 | -27 | 2,0 |
| НСР ₀₅ | 5 | | |

Анализируя проведенные нами исследования по накоплению ^{137}Cs зерном озимой ржи, можно отметить, что удельная активность ^{137}Cs зерна озимой ржи в среднем на контрольном варианте самое высокое 55 Бк/кг (вариант 5). Анализ динамики удельной активности ^{137}Cs зерна озимой ржи показывает, что за счет совместного применения минерального и органического удобрения снижается накопление радионуклида до 2,1 раз.

Содержание белка в зерне озимой ржи в среднем за годы исследования, на контрольном варианте составило 14,32% (табл. 3). При применении минерального удобрения в максимальных дозах накопление белка в зерне озимой ржи увеличилось, при применении средних и минимальных доз минерального удобрения значительных изменений не наблюдалось. Максимальный сбор белка зерном озимой ржи обеспечили варианты с применением повышенных доз минерального удобрения.

Таблица 3 – Влияние минерального и различных видов органического удобрения на показатели качества зерна озимой ржи (среднее 2005-2012 гг.)

| Вариант | | Содержание белка | | N-NO ₃ , мг/кг |
|-------------------|---|------------------|------|---------------------------|
| | | % | т/га | |
| 1 | Навоз 20 т/га N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀ + люпина на зеленое удобрение | 14,58 | 0,26 | 12,0 |
| 2 | Навоз 20 т/га N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + люпина на зеленое удобрение | 14,44 | 0,23 | 11,5 |
| 3 | Навоз 20 т/га N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + люпина на зеленое удобрение | 14,28 | 0,20 | 11,5 |
| 4 | N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + люпина на зеленое удобрение | 14,30 | 0,19 | 11,5 |
| 5 | Контроль – люпина на зеленое удобрение | 14,32 | 0,13 | 10,0 |
| 6 | Навоз 20 т/га N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ | 14,45 | 0,22 | 11,2 |
| 7 | Навоз 20 т/га N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ | 14,46 | 0,22 | 11,1 |
| 8 | Навоз 20 т/га N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀ | 14,52 | 0,25 | 12,3 |
| НСР ₀₅ | | 0,17 | | 0,7 |

Содержание нитратов в зерне озимой ржи, колебалось по вариантам опыта от 10,0 до 12,3 мг/кг, за счет увеличения уровня внесения удобрений, содержание нитратов увеличивалось, однако оно по всем вариантам опыта было низкое (ПДК 250 мг/кг).

Применение в опыте сочитаний минерального и органического удобрения незначительно влияли на содержание элементов Mg и Na (табл. 4). Содержание Ca в зерне озимой ржи в вариантах с применением минеральных удобрений в максимальных дозах повышалось. Отмечалось повышенное содержание в зерне озимой ржи фосфора и калия в вариантах применения минерального удобрения в дозах N₁₂₀P₉₀K₁₂₀.

Таблица 4 – Влияние минерального и различных видов органического на содержание элементов в зерне озимой ржи, % (среднее 2005-2012 гг.)

| Вариант | | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg | Na |
|-------------------|---|-------------------------------|------------------|------|------|------|
| 1 | Навоз 20 т/га N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀ + люпина на зеленое удобрение | 1,47 | 0,72 | 0,16 | 0,13 | 0,04 |
| 2 | Навоз 20 т/га N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + люпина на зеленое удобрение | 1,44 | 0,72 | 0,13 | 0,13 | 0,04 |
| 3 | Навоз 20 т/га N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + люпина на зеленое удобрение | 1,42 | 0,70 | 0,13 | 0,12 | 0,04 |
| 4 | N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + люпина на зеленое удобрение | 1,43 | 0,71 | 0,13 | 0,12 | 0,04 |
| 5 | Контроль – люпина на зеленое удобрение | 1,45 | 0,70 | 0,13 | 0,12 | 0,04 |
| 6 | Навоз 20 т/га N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ | 1,45 | 0,72 | 0,13 | 0,13 | 0,04 |
| 7 | Навоз 20 т/га N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ | 1,46 | 0,72 | 0,14 | 0,13 | 0,04 |
| 8 | Навоз 20 т/га N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀ | 1,47 | 0,73 | 0,17 | 0,14 | 0,04 |
| НСР ₀₅ | | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |

Заключение. В условиях запада Брянской области в плодосменном севообороте на дерново-подзолистой песчаной почве оптимальной системой удобрения для получения максимальной урожайности 1,78 т/га явилось сочетание минерального удобрения в дозе N₁₂₀P₉₀K₁₂₀ совместно с навозом и зеленым удобрением.

За годы исследований величина удельной активности ^{137}Cs зерна озимой ржи не превышала допустимый уровень. От применения систем удобрения содержание радионуклида ^{137}Cs снижалось до 2,1 раз.

Список источников

1. Мамеев В.В., Нестеренко О.А. Реализация потенциала продуктивности озимой ржи в почвенно-климатических условиях Брянской области // Вестник Брянской ГСХА. 2019. № 2. С. 20-27.
2. Ториков В.Е., Мельникова О.В., Дорных Г.Е. Эффективность внесения минеральных удобрений на программированный уровень урожайности зерна озимой и яровой тритикале // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 1 (101). С.15-18.

3. Биологическая урожайность и качество зерна сортов яровой пшеницы, ячменя, овса и тритикале в условиях юго-запада Центрального региона России / О.В. Мельникова, В.Е. Ториков, М.П. Наумова и др. // Вестник Брянской ГСХА. 2020. № 5 (81). С. 20-26.

4. Белоус И.Н. Научное обоснование систем удобрения озимой ржи в условиях радиоактивного загрязнения дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада Центральной России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М.: ВНИИА, 2022. 42 с.

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

6. Малявко Г.П., Белоус И.Н. Возделывание озимой ржи на радиоактивно загрязненной территории // Агрохимический вестник. 2012. № 5. С. 7-9.

Информация об авторах

В.Н. Адамко – директор, Новозыбковская СХОС - филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», кандидат сельскохозяйственных наук.

В.А. Анищенко – аспирант, Новозыбковская СХОС - филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса».

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

В.Ф. Шаповалов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the authors

V.N. Adamko – Director, Candidate of Agricultural Sciences, Novozybkov Agricultural Experimental Station – Branch of Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology.

V.A. Anishchenko – postgraduate student, Novozybkov Agricultural Experimental Station – Branch of Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology.

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

V.F. Shapovalov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University.

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 19.02.2024; одобрена после рецензирования 24.05.2024, принята к публикации 31.05.2024..

The article was submitted 19.02.2024; approved after reviewing 24.05.2024; accepted for publication 31.05.2024.

© Адамко В.Н., Анищенко В.А., Воробьева Л.А., Шаповалов В.Ф.