

УДК 631.8:633.11:502.52

UDC 631.8:633.11:502.52

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

Agricultural sciences

**ЭКОЛОГО-АГРОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА УРОЖАЙ И КАЧЕСТВО
ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

**ECOLOGICAL AND AGRONOMIC
EVALUATION OF THE INFLUENCE OF
CHEMICAL FARMING MEANS ON YIELD
AND QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN**

Загорулько Александр Васильевич
д. с.-х. н., профессор, SPIN 3626-7996

Zagorulko Aleksandr Vasilevich
Dr.Sci.Agr., professor, SPIN 3626-7996

Гайдукова Нина Георгиевна
к. х. н., профессор
SPIN 9128-6929

Gaydukova Nina Georgiyevna
Cand.Chem.Sci., professor
SPIN 9128-6929

Шабанова Ирина Вячеславовна
к. х. н., доцент
SPIN 8359-5325

Shabanova Irina Vyacheslavovna
Cand.Chem.Sci., associate professor
SPIN 8359-5325

Скоробогатова Анастасия Сергеевна
аспирант
*Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар,
Россия*

Skorobogatov Anastasia Sergeevna,
graduate student
*Federal State Budgetary Educational Institution of
Higher Education "Kuban State Agrarian University
named after I.T. Trubilin", Krasnodar, Russia*

Предлагаемые агроприемы выращивания мягкой озимой пшеницы способствуют воспроизводству плодородия чернозема выщелоченного Западного Предкавказья: гидролитическая кислотность снижается на 21,8 %; возрастает содержание гумуса на 10,3 %, подвижного фосфора – 54,8 %, минерального азота – 10,3 %, доступного калия – 9,6%. Исследуемые агротехнологии повышают урожайность озимой пшеницы до 81,8 ц/га, содержание в зерне протеина до 15,3 %, клейковины до 27,8 %. Выявлена избыточная концентрация подвижного фосфора в верхнем горизонте почвы (1,5 ПДК) при выращивании пшеницы после люцерны, способствующая снижению урожайности. В условиях длительного применения удобрений и пестицидов отмечено снижение содержания подвижных форм незаменимых для растений микроэлементов – меди и цинка – до дефицита по биогеохимическим критериям. Содержание подвижных форм соединений тяжелых металлов в черноземе выщелоченном – Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Co, Pb и Cd – ниже ПДК по эколого-токсикологическим нормативам для глинистых и суглинистых почв сельскохозяйственного назначения. Установлена тенденция накопления кадмия в зеленой массе растений (1,2 ПДК) и зерне озимой пшеницы до 1,5 ПДК по нормативам для детского питания

The proposed agro technology for the cultivation of soft winter wheat contributes to the reproduction of fertility of leached Chernozem of the Western Ciscaucasia. As a result of application of fertilizers in the arable layer of soil hydrolytic acidity decreased by 21.8%, humus content increased by 10.3%, mobile phosphorus - by 54.8%, mineral nitrogen by 10.3% and potassium - by 9.6% compared to the control. Studied agricultural technology allowed to increase the yield of winter wheat to 81.8 kg/ha and protein to 15.3 per cent, of gluten, to 27.8%. We have noticed exceeded concentration of mobile phosphorus in the upper soil horizon (1.5 MPC) in the cultivation of wheat after alfalfa, which contributed to reduced grain yield. Under conditions of prolonged application of fertilizers and pesticides reduced the content of mobile forms of trace elements - copper and zinc. The content of mobile forms of Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Co, Pb and Cd below the limit values of environmental and Toxicological regulations clayey and loamy soils for agricultural purposes. The trend of accumulation of cadmium in the green mass of plants (~ 1.2 MPC) and winter wheat grain up to 1.5 MPC for baby food

Ключевые слова: ЧЕРНОЗЕМ
ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ, ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА,
УДОБРЕНИЯ, ПЕСТИЦИДЫ,
МАКРОЭЛЕМЕНТЫ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ,
УРОЖАЙ, КАЧЕСТВО

Keywords: LEACHED CHERNOZEM, WINTER
WHEAT, FERTILIZERS, PESTICIDES,
NUTRIENTS, HEAVY METALS, YIELD,
QUALITY

Doi: 10.21515/1990-4665-131-115

Получение высоких урожаев озимой пшеницы – основы продовольственной безопасности страны – требует тщательного учета условий выращивания и современных технологий применения химических средств земледелия, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды и зерна. Для роста и развития растений, формирования урожая пшеницы необходимо оптимальное соотношение макро- и микроэлементов питания в почвенном растворе во все фазы вегетации этой культуры. Избыток азота и фосфора усиливает полегание хлебов, поражение их ржавчиной, является источником загрязнения окружающей среды. Высокое содержание подвижного фосфора снижает поступление эссенциальных микроэлементов в растения, в частности, цинка [1,2]. Дефицит обеспеченности почвы подвижными формами микроэлементов – марганец (Mn), медь (Cu), цинк (Zn), кобальт (Co) – снижает устойчивость растений пшеницы к болезням и их фотосинтетическую деятельность, что влияет на продуктивность и качество зерна. В работе [3, с. 215] детально рассматривается влияние различных технологий на продуктивность и формирование «хлебопекарных достоинств зерна».

Качество продовольственной продукции растениеводства определяется не только полноценным набором белков, жиров, углеводов, витаминов, минеральных веществ, но и её безопасностью – присутствием химических веществ в пределах норм, установленных для человека и животных. В настоящее время в России существует несколько видов нормативов содержания минеральных веществ в биопродукции: эколого-токсикологические, гигиенические, агрохимические и биогеохимические. Санитарно-гигиеническими нормативами определены предельно допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов в зерне, мг/кг – Cd (0,1), Hg (0,03), Zn (50), Pb (0,5), Cu (10) [3]. Минеральная полноценность

продовольственного зерна характеризуется оптимальным уровнем содержания макро- и микроэлементов – биогеохимические показатели [5]. Агрохимические критерии оптимального содержания элементов питания в почвенном растворе, необходимые для нормального роста и развития сельскохозяйственных растений во все фазы вегетации, определяют диапазоны концентраций доступных форм азота, фосфора, калия и микроэлементов [6, 7].

Цель нашей работы – изучение действия химических средств земледелия, применяемых в новых технологиях возделывания озимой пшеницы, на уровень содержания макроэлементов (NPK) и тяжелых металлов в черноземе выщелоченном Азово-Кубанской низменности, урожае озимой пшеницы. Дать эколого-агрономическую оценку новым технологиям выращивания озимой пшеницы на основе эколого-токсикологических, биогеохимических и агрохимических критериев.

Объекты и методы.

Почва – чернозем выщелоченный (агрочернозем глинисто-иллювиальный агрогенно переуплотненный глинистый) Азово-Кубанской низменности. *Культура* – озимая пшеница, сорт Юка, предшественник – люцерна (2013–2014 гг.) и сорт Антонина, предшественник – подсолнечник (2015–2016 гг.). Разработка современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур базируется на основных показателях модели управления «продукционным процессом сортотипа» в определенных агроэкологических условиях.

Исследования проводились в рамках длительного многофакторного полевого опыта в условиях 11-польного зернотравяно-пропашного севооборота. Изучалось влияние уровня плодородия почвы, системы удобрения и защиты растений (табл. 1).

Высокие технологии представляют собой комплексную защиту растений от болезней, вредителей, сорняков и применение удобрений в

дозах, обеспечивающих 85 % реализации потенциала сорта. *Интенсивная* технология включает защиту растений от наиболее опасных вредителей, болезней, сорняков и обеспечивающая реализацию потенциала сорта выше 65 %. *Нормальные* технологии представляют собой систему агротехнических приемов получения продукции с использованием биологического потенциала сорта более 50 %. *Новые* технологии предполагают разработку технологических приемов, способов и средств земледелия, повышающих эффективность производства продукции и экологическую безопасность объектов окружающей среды.

Таблица 1 – Изучаемые факторы (ABC) в опыте

| № | Фактор | Схема фактора | |
|--|---|---|---|
| 1 | Уровень плодородия почвы (А) | A ₀ – исходный уровень плодородия почвы | |
| | | A ₁ – средний уровень плодородия почвы (200 т/га навоза + 200 кг/га P ₂ O ₅) | |
| | | A ₂ – повышенный уровень плодородия почвы (400 т/га навоза + 400 кг/га P ₂ O ₅) | |
| | | A ₃ – высокий уровень плодородия почвы (600 т/га навоза + 600 кг/га P ₂ O ₅) | |
| 2 | Система удобрения (В) | V ₀ – без удобрений | |
| | | – под озимой пшеницей по люцерне | V ₁ [*] – минимальная норма: осень N ₂₅ P ₃₀ K ₂₀ кг/га д.в. весна N ₂₀ кг/га д.в. |
| | | | V ₂ [*] – средняя норма: осень N ₄₅ P ₆₀ K ₄₀ кг/га д.в. весна N ₄₅ кг/га д.в. |
| | V ₃ [*] – высокая норма: осень N ₉₀ P ₆₀ K ₄₀ кг/га д.в. весна N ₉₀ кг/га д.в. | | |
| | – под озимой пшеницей по подсолнечнику | V ₁ [*] – минимальная норма: осень N ₃₅ P ₄₅ K ₃₀ кг/га д.в. весна N ₃₅ кг/га д.в. | |
| | | V ₂ [*] – средняя норма: осень N ₇₀ P ₉₀ K ₆₀ кг/га д.в. весна N ₇₀ кг/га д.в. | |
| | | V ₃ [*] – высокая норма: осень N ₁₄₀ P ₁₈₀ K ₁₂₀ кг/га д.в. весна N ₁₄₀ кг/га д.в. | |
| | 3 | Система защиты растений (С) | C ₀ – без защиты |
| | | | C ₁ – биологическая защита от вредителей и болезней |
| C ₂ – химическая защита от сорняков | | | |
| C ₃ – интегрированная защита от вредителей, болезней и сорняков | | | |
| * – вносится дополнительно N ₃₀ в фазу колошения | | | |

Изучалось исследование влияния базовых технологий ABC: 000 – ($A_0B_0C_0$) экстенсивная, 111 – ($A_1B_1C_1$) беспестицидная, 222 – ($A_2B_2C_2$) экологически допустимая, 333 – ($A_3B_3C_3$) интенсивная на содержание элементов питания в почве и растениях.

Агрохимические показатели почвы и растений определяли стандартными методами: гумус по Тюрину (ГОСТ 26213–91); кислотность актуальную и обменную – потенциометрическим методом (ГОСТ 2642–85); минеральный азот и подвижный фосфор – спектрофотометрически (спектрофотометр «ЮНИКО»); содержание тяжелых металлов – методом атомно-абсорбционной спектроскопии: кислоторастворимые формы в азотнокислой вытяжке, подвижные – в групповой ацетатно-аммонийной вытяжке из почвенных образцов. Основные показатели качества зерна определяли методом инфракрасной спектроскопии (БИК анализатор «ИнфраЛЮМ ФТ-10»).

Агроклиматические условия в период исследований: годовое количество осадков (с.х. год) в 2013–14 г. составило 717 мм, 2014–15 г. – 775 мм, 2015 –16 г. – 696,9 мм(среднепогодное 643 мм); среднемесячный температурный режим в 2013–14г. 13,3 °С; 2014–15г. – 13,1 °С; 2015 –16 г. – 14,4 °С (среднепогодная 12,8 °С).

Результаты исследований и их обсуждение.

Результаты исследований влияния базовых технологий на агрохимические свойства чернозема выщелоченного представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние различных технологий возделывания озимой пшеницы на агрохимические свойства пахотного слоя почвы (опытное поле КубГАУ, 2013–16 гг.)

| Агрохимические показатели почвы | Технология | | | | НСР ₀₅ |
|---|------------|-----|------|------|-------------------|
| | 000 | 111 | 222 | 333 | |
| Сумма обменных оснований, мг-экв. / 100 г почвы (S) | 31 | 33 | 34 | 35 | 1,5 |
| Гидролитическая кислотность, мг-экв. /100 г почвы (H _f) | 4,6 | 4,6 | 3,6 | 3,6 | 0,5 |
| Емкость катионного обмена, мг-экв. на 100 г почвы (ЕКО) | 36 | 37 | 38 | 39 | 1,8 |
| Степень насыщенности основаниями, % (V) | 87 | 88 | 90 | 91 | 2,0 |
| (активная кислотность) | 6,6 | 6,8 | 6,9 | 6,9 | 0,8 |
| pH_{KCl} (обменная кислотность) | 5,7 | 5,6 | 6,1 | 6,1 | 0,5 |
| Гумус, % | 2,9 | 3,3 | 3,0 | 3,2 | 0,2 |
| P ₂ O ₅ , мг/кг (подвижный) <i>ПДК 200 мг/кг</i> | 177 | 222 | 303 | 302 | 18 |
| (N-NH ₄ ⁺) + (N-NO ₃ ⁻), мг/кг <i>ПДК 29,4 мг/кг</i> | 9,0 | 9,2 | 15,7 | 21,9 | 2,3 |
| K ₂ O, мг/кг <i>ПДК 360 мг/кг</i> | 173 | 180 | 193 | 195 | 23 |

Внесение минеральных удобрений способствует повышению степени насыщенности основаниями пахотного слоя чернозема выщелоченного, емкости катионного обмена и суммы обменных оснований, что вызывает снижение гидролитической кислотности, повышает буферность почвы. Увеличение значений активной кислотности $\text{pH}_{\text{KCl}}(\text{H}_2\text{O})$ до 6,9 приводит к образованию малорастворимых гидроксидов, фосфатов и карбонатов магния, кальция, марганца, свинца, меди, цинка, никеля. Степень обеспеченности пахотного слоя подвижным фосфором (по Чирикову) на контроле соответствует высокому уровню, применение удобрений ведет к накоплению дигидрофосфат-ионов выше ПДК:

беспестицидная технология (111) – 1,2 ПДК, экологически допустимая (222) и интенсивная (333) – 1,5 ПДК. Внесение очень высоких доз фосфорных удобрений на варианте интенсивной технологии (333) приводит к усилению специфической адсорбции избыточных фосфат-анионов почвенными минералами, образованию более прочных координационных связей с катионами кальция, магния и тяжелых металлов (ТМ). Ионы калия также могут связываться специфически – в этом случае поглощается значительно большее количество ионов, чем это вытекает из величины ЕКО.

Изучаемые новые агротехнологии способствовали воспроизводству гумуса: беспестицидная – на 13,8 %; экологически допустимая – 6,8 %; интенсивная – 10,3 %. Формирование урожая зависит от обеспеченности растений азотом, фосфором и калием.

На рисунке 1 показано влияние агротехнологий на динамику содержания подвижного фосфора в пахотном слое почвы в различные фазы роста озимой пшеницы сорта Юка. Исходная обеспеченность подвижным фосфором чернозема выщелоченного соответствует очень высокому уровню, что связано, вероятно, с предшественником – 3 года выращивали люцерну.

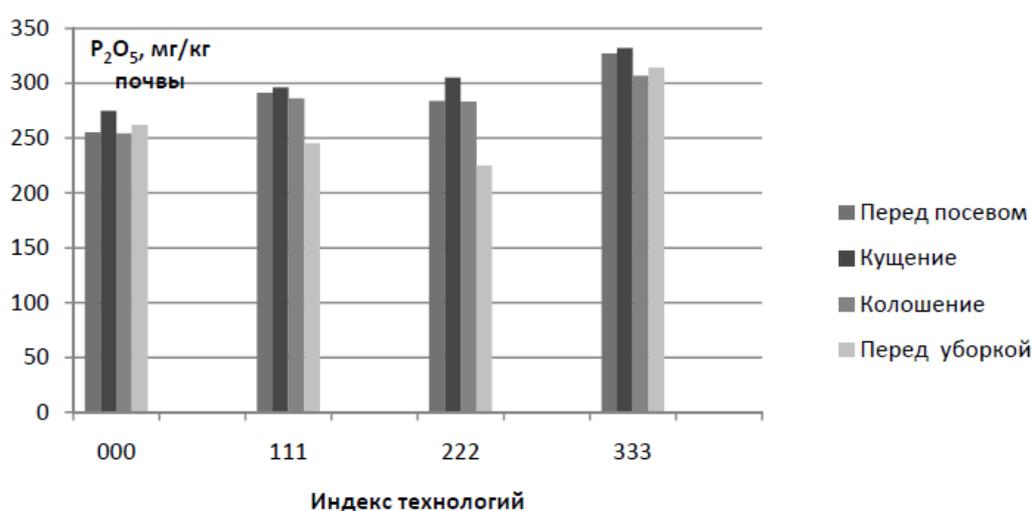


Рисунок 1 – Динамика содержания подвижного фосфора в пахотном слое почвы в период вегетации озимой пшеницы сорта Юка при различных технологиях

Снижение подвижного фосфора наблюдается в условиях беспестицидной и экологически допустимой технологий в фазы колошения и перед уборкой – период формирования колоса, созревания зерна. Несмотря на вынос фосфора вегетирующими растениями, его содержание остается на высоком уровне. С точки зрения агрохимических критериев в условиях интенсивной технологии отмечен избыток подвижных фосфатов – его содержание составляет 1,5 ПДК по санитарно-гигиеническим нормативам.

При выращивании пшеницы сорта Антонина – предшественник подсолнечник – содержание подвижных фосфатов в почве перед посевом ниже в 1,6 раза, чем на поле сорта Юка, что, очевидно, вызвано значительным выносом питательных веществ подсолнечником (рис. 2). Внесение удобрений повышает уровень содержания фосфат-ионов до высокого (111) и очень высокого уровней (1,5 ПДК) при экологически допустимой и интенсивной технологиях в последующие фазы роста и развития растений озимой пшеницы сорта Антонина (рис. 2). Высокая концентрация дигидрофосфат-ионов может вызывать подкисление почвенного раствора, снижение буферных свойств почвы, разрушение почвенных минералов (эрозию) [9]. Кроме того, избыточное содержание подвижного фосфора в почве усиливает полегание хлебов, поражение их ржавчиной.

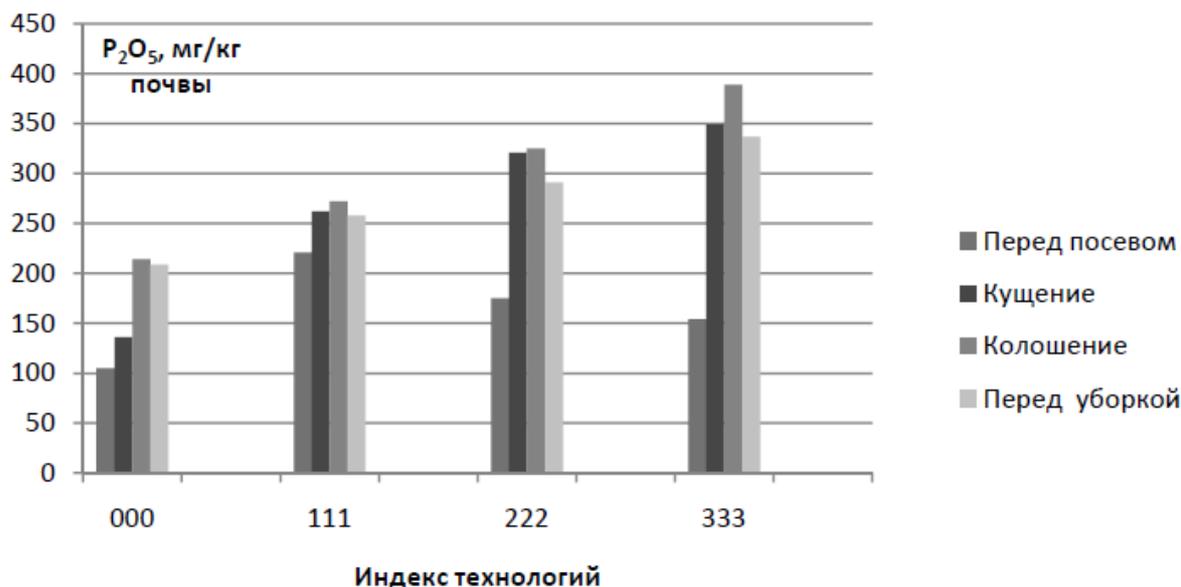


Рисунок 2 – Динамика содержания подвижного фосфора в пахотном слое почвы в период вегетации озимой пшеницы сорта Антонина при различных технологиях.

Повышение продуктивности озимой пшеницы возможно при оптимальном соотношении азотного, фосфорного и калийного питания. На рисунках 3 и 4 показана динамика содержания минерального азота в пахотном слое чернозема выщелоченного при возделывании пшеницы сортов Юка и Антонина. Согласно агрохимическим и биогеохимическим критериям обеспеченность подвижным азотом на поле сорта Юка перед посевом соответствует норме (20 – 50 мг/кг) [7]. В фазы кущения, колошения и перед уборкой отмечено резкое снижение уровня азота до дефицита (< 20 мг/кг почвы) в условиях экстенсивной и беспестицидной технологий. Внесение повышенных доз удобрений на вариантах экологически допустимой и интенсивной технологий (222 и 333) способствует улучшению азотного питания.

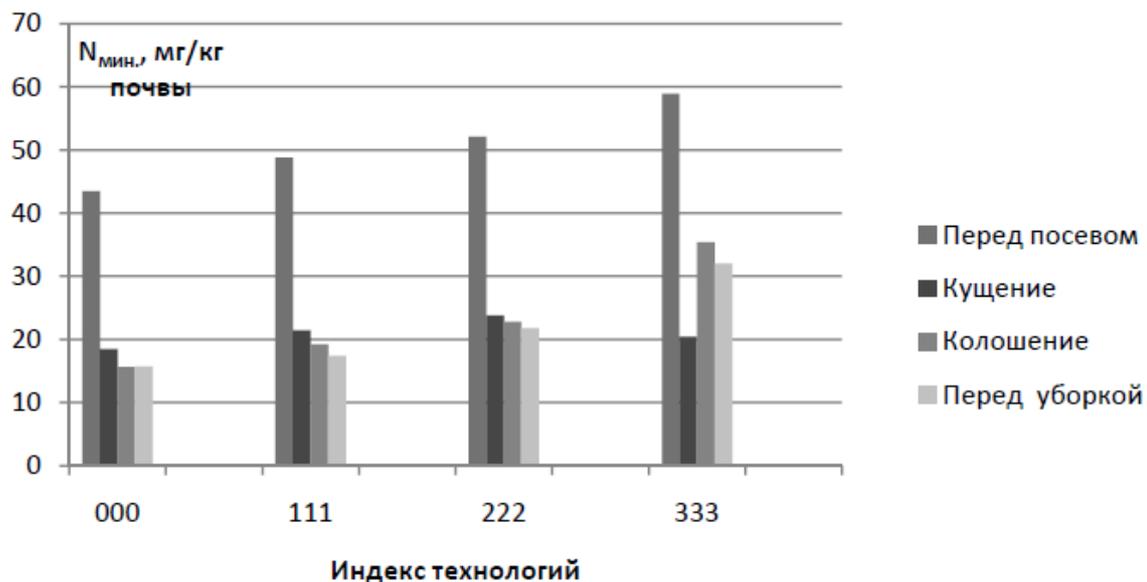


Рисунок 3 – Динамика содержания минерального азота в пахотном слое почвы в период вегетации озимой пшеницы сорта Юка при различных технологиях

Обеспеченность азотным питанием растений пшеницы сорта Антонина значительно ниже – дефицит наблюдался практически на всех вариантах во все фазы вегетации, кроме периодов кущения и перед уборкой на фоне экологически допустимой технологии (рис. 4).

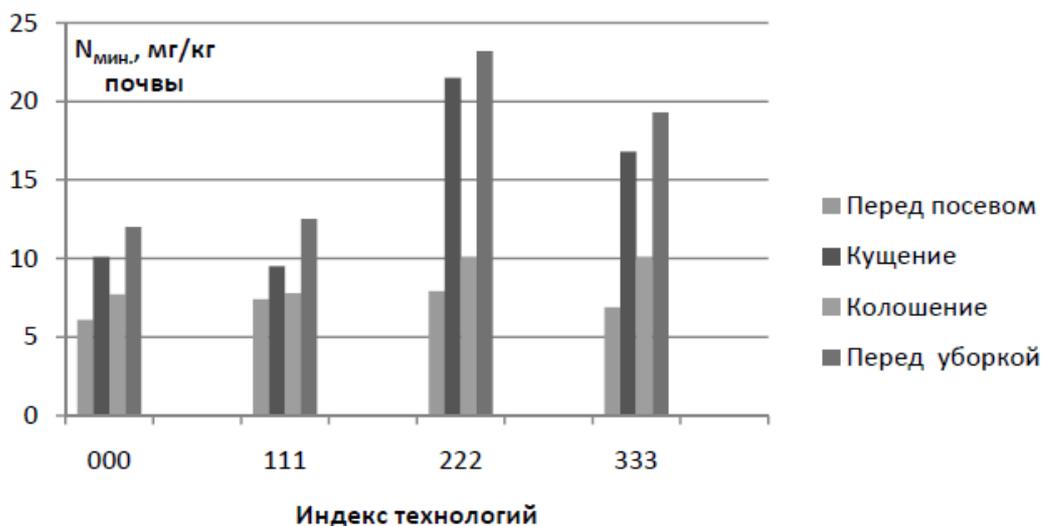


Рисунок 4 – Динамика содержания минерального азота в пахотном слое почвы в период вегетации озимой пшеницы сорта Антонина при различных технологиях

Уровень обеспеченности доступным калием был сравнительно стабильным – от среднего (150 мг/кг) до высокого (220 мг/кг) [3].

В таблице 3 приведены показатели урожайности и качества зерна озимой пшеницы (сорта Юка и Антонина).

Таблица 3 – Влияние различных технологий возделывания озимой пшеницы на урожайность и качество зерна (опытное поле КубГАУ, 2013–16 гг.)

| Индекс технологии | Показатели качества зерна озимой пшеницы | | | | |
|-------------------|--|------------|---------------|-----------|--------|
| | Урожайность, ц/га | Протеин, % | Клейковина, % | ИДК, е.п. | Группа |
| сорт Юка | | | | | |
| 000 | 59,08 | 13,51 | 22,32 | 65,7 | II |
| 111 | 59,12 | 14,03 | 23,57 | 67,4 | I |
| 222 | 66,55 | 14,52 | 24,11 | 66,3 | I |
| 333 | 68,74 | 14,88 | 25,47 | 63,3 | I |
| Сорт Антонина | | | | | |
| 000 | 59,65 | 12,87 | 22,03 | 67,5 | II |
| 111 | 75,86 | 14,00 | 26,02 | 69,0 | I |
| 222 | 81,80 | 14,82 | 26,96 | 69,6 | I |
| 333 | 81,69 | 15,29 | 27,76 | 71,4 | I |
| НСР ₀₅ | 2,14 | 0,41 | 0,19 | 1,57 | - |

Урожайность озимой пшеницы сортов Юка и Антонина возрастает по мере улучшения пищевого режима за счет повышения уровня плодородия, внесения минеральных удобрений и применения средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков. *Беспестицидная* технология с использованием минимальной дозы удобрения и биологических средств защиты растений от вредителей и болезней на почве со средним уровнем плодородия обеспечила повышение урожайности сорта Антонина на 27,2% и практически не оказала влияния на продуктивность пшеницы сорта Юка (предшественник–люцерна). В условиях *экологически допустимой* технологии с повышенным уровнем плодородия, двойной дозой удобрений и применением гербицидов для борьбы с сорняками повышение урожайности составило, %: сорта Юка – 12,6; сорта Антонина – 37,1. При *интенсивной* технологии – высокое

плодородие, тройные дозы удобрений и интегрированная система защиты растений от вредителей, болезней и сорняков – урожайность пшеницы сорта Юка возросла на 16,3 %, сорта Антонина – на 31,9 %. Продуктивность сорта Антонина была выше в сравнении с сортом Юка в условиях всех изучаемых технологий, %: беспестицидная – 28,3; экологически допустимая – 22,9; интенсивная – 18,8. На поле пшеницы сорта Юка обеспеченность фосфором и азотом (рис. 1 и 3) была выше (фосфор в избытке), чем на поле с сортом Антонина, во все фазы вегетации. На наш взгляд, избыточная концентрация фосфат-ионов в почвенном растворе является одной из причин более низкой урожайности сорта Юка при внесении удобрений, так как это влияет на проницаемость мембран, увеличивает конкуренцию между ионами, подавляет ферментативную активность, нарушает энергетические процессы. Кроме того, высокая концентрация солей почвенного раствора снижает поглощение воды растениями [9].

В производстве высококачественного продовольственного зерна мягкой пшеницы особое внимание уделяют содержанию белка и клейковины с определенными физическими свойствами (упругость, эластичность, способность к набуханию). Анализ показателей качества зерна пшеницы изучаемых сортов показал положительное влияние технологий выращивания на содержание протеина и клейковины в зерне (табл. 3). Внесение минимальных доз удобрений на фоне среднего плодородия и применение биологической защиты растений от болезней и сорняков на варианте с беспестицидной технологией (111) способствовало повышению показателей качества зерна сортов Юка и Антонина соответственно, %: при этом клейковина оценивалась I группой качества с показателями ИДК от 63,3 до 67,4 у сорта Юка и от 67,5 до 71,4 у сорта Антонина; протеина – на 3,9 и 8,8; клейковины на 5,6 и 18,1. Максимальный прирост качественных показателей зерна отмечен в

условиях интенсивной технологии (вариант 333) у сорта Антонина – прирост протеина составил 18,8 %, клейковины – 26,01 %. Эти показатели свидетельствуют, что удобрения приносят больший эффект в случае более низкой обеспеченности почвы питательными элементами (рис. 2 и 4). Качество зерна зависит и от погодных условий, складывающихся в период налива и созревания. В годы исследования агроклиматические условия были близки, поэтому основными факторами, влияющими на урожайность и качество зерна, можно считать сорт и уровень минерального питания.

Наряду с макроэлементами важное влияние на качество зерна и урожай оказывают такие микроэлементы, как марганец (Mn), медь (Cu), цинк (Zn), кобальт (Co). Они относятся к группе незаменимых питательных элементов – при их отсутствии в почвенном растворе нарушается рост и развитие растений. Агрохимические и биогеохимические критерии содержания подвижных форм микроэлементов, мг/кг:

- дефицит, мг/кг: Mn < 10; Cu < 0,2; Zn < 2,0; Co < 0,15.
- норма: Mn 10,1– 20,0; Cu 0,21– 0,50; Zn 2,1– 5,0; Co 0,16– 0,30.
- избыток: Mn > 20,0; Cu > 0,50; Zn > 5,0; Co > 0,30.

В таблице 4 приведены результаты исследований почвы на содержание кислоторастворимых и подвижных форм микроэлементов в пахотном слое при выращивании озимой пшеницы сорта Антонина. Кислоторастворимые соединения (карбонаты, фосфаты, гидроксиды) относят к потенциально доступным формам, по мере снижения концентрации ионов металлов в почвенном растворе равновесие смещается в сторону растворения этих соединений. Исходя из агрохимических критериев, содержание подвижного марганца и кобальта в почве в избытке, меди и цинка – дефицит.

Таблица 4 – Влияние агротехнологий выращивания озимой пшеницы на содержание Mn, Cu, Zn и Co в пахотном слое почвы, мг/кг (фаза вегетации – кущение, сорт Антонина).

| Индекс технологии | Mn | | Cu | | Zn | | Co | |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|
| | КФ* | ПФ** | КФ | ПФ | КФ | ПФ | КФ | ПФ |
| 000 | 197,5 | 77,8 | 19,9 | 0,22 | 52,4 | 0,62 | 1,9 | 0,36 |
| 111 | 202,6 | 72,1 | 20,6 | 0,23 | 52,4 | 1,25 | 1,9 | 0,37 |
| 222 | 192,9 | 63,2 | 18,9 | 0,20 | 44,9 | 0,70 | 1,5 | 0,33 |
| 333 | 165,5 | 65,1 | 16,9 | 0,20 | 41,6 | 1,05 | 1,7 | 0,29 |
| ПДК, мг/кг | 1500 | 140 | 55 | 3,0 | 100 | 23,0 | 40 | 5,0 |

Примечания: КФ* – кислоторастворимые формы; ПФ** – подвижные формы.

Недостаток меди может вызывать нарушения активности ряда ферментов, в частности, нитратредуктазы, что негативно сказывается на азотном обмене. Кроме того, дефицит меди снижает устойчивость к полеганию, вызывает задержку роста и цветения. Цинк влияет на синтез аминокислоты триптофан, при его недостатке в растениях накапливаются органические кислоты и небелковые соединения азота.

С позиций эколого-токсикологических нормативов чернозем выщелоченный по содержанию подвижных соединений является экологически чистым (< ПДК). Важное экологическое значение имеет содержание тяжелых металлов в почве и возможность накопления их в продукции [10, 11]. В таблице 4 представлены результаты исследования почвы на содержание особо опасных тяжелых металлов (кадмия, свинца) и металлов второго класса опасности – хрома и никеля. Применение химических средств земледелия вызывает внутripочвенную эрозию, что повышает в почвенном растворе содержание токсичных веществ, в частности тяжелых металлов, до опасных концентраций для живых организмов и растений [12, 13].

Таблица 5 – Влияние агротехнологий выращивания озимой пшеницы на содержание тяжелых металлов (Pb, Cd, Cr и Ni) в пахотном слое почвы, мг/кг (фаза вегетации – кущение, сорт Антонина)

| Индекс технологии | Pb | | Cd | | Cr | | Ni | |
|--|-----|------|-------|-------|------|------|------|------|
| | КФ* | ПФ** | КФ | ПФ | КФ | ПФ | КФ | ПФ |
| 000 | 6,2 | 0,40 | 0,072 | 0,042 | 41,7 | 0,64 | 10,3 | 1,44 |
| 111 | 6,4 | 0,45 | 0,089 | 0,041 | 42,3 | 0,66 | 10,2 | 1,48 |
| 222 | 5,7 | 0,45 | 0,063 | 0,039 | 37,6 | 0,56 | 11,3 | 1,33 |
| 333 | 5,4 | 0,46 | 0,087 | 0,043 | 29,2 | 0,57 | 9,2 | 1,23 |
| ПДК, мг/кг | 32 | 6,0 | 2,0 | 0,1 | 90 | 6,0 | 80 | 4,0 |
| Примечания: КФ* – кислоторастворимые формы; ПФ** – подвижные формы | | | | | | | | |

Содержание подвижных форм Pb, Cd, Cr и Ni в пахотном слое чернозема выщелоченного ниже ПДК по эколого-токсикологическим нормативам. Подвижность исследуемых тяжелых металлов изменяется в условиях различных технологий выращивания. Доля подвижных форм их соединений от кислоторастворимых колеблется в пределах, %:

Mn – 32,8 (вариант 222) до 39,6 (000 и 333);

Cu – 1,06 (222) до 1,18 (333);

Co – 17,1 (333) до 22,0 (222);

Zn – 1,18 (000) до 2,52 (333);

Pb – 6,45 (000) до 8,52 (333);

Cd – 44,4 (111 и 333) до 66,7 (222);

Cr – 1,49 (222) до 1,95 (333);

Ni – 11,8 (222) до 14,5 (111).

Высокая подвижность характерна для кадмия (> 40 %), марганца (> 32 %), кобальта (> 17 %) и никеля (> 11 %). От содержания подвижных форм зависит накопление тяжелых металлов в зеленой массе и зерне озимой пшеницы, что влияет на качество и безопасность продукции [14, 15].

Наиболее активно тяжелые металлы поглощаются растениями в начальных фазах роста, в связи с этим были проведены исследования по

определению содержания цинка, свинца, кадмия, кобальта, марганца, хрома, никеля, меди в зеленой массе озимой пшеницы в фазе кущения (табл. 6).

Таблица 6 - Содержание тяжелых металлов в зеленой массе озимой пшеницы в фазе кущения (2013 – 2016 гг.)

| Вариант | Содержание ТМ, мг/кг сухой массы | | | | | |
|-----------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|
| | Mn | Cu | Zn | Pb | Cd | Co |
| 000 | 53,0 | 5,36 | 23,0 | 0,47 | 0,36 | 0,46 |
| 111 | 45,0 | 6,01 | 24,3 | 0,50 | 0,40 | 0,32 |
| 222 | 44,0 | 5,87 | 30,3 | 0,45 | 0,22 | 0,27 |
| 333 | 51,7 | 6,31 | 37,5 | 0,43 | 0,29 | 0,57 |
| ПДК (корма) [3] | – | 30 | 50 | 5,0 | 3,0 | - |

Содержание тяжелых металлов в зелёной массе озимой пшеницы не превышает ПДК для кормовых культур. Внесение высоких удобрений (варианты 222 и 333) способствуют увеличению содержания цинка в зеленой массе и снижению накопления в ней кадмия по сравнению с контролем (000).

Содержание тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы при различных технологиях выращивания представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Содержание тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы (2013–2016 гг.)

| Вариант | Сорт | Содержание ТМ, мг/кг | | | | | | | |
|--------------------------|----------|----------------------|------|------|-------------|--------------|-------|-------|------|
| | | Mn | Cu | Zn | Pb | Cd | Co | Cr | Ni |
| 000 | Юка | 24,0 | 4,80 | 24,9 | 0,045 | 0,103 | 0,049 | – | – |
| | Антонина | 20,0 | 4,88 | 28,1 | 0,137 | 0,039 | 0,028 | 0,031 | 0,43 |
| | среднее | 22,0 | 4,84 | 26,5 | 0,091 | 0,071 | 0,039 | 0,031 | 0,43 |
| 111 | Юка | 24,0 | 3,80 | 20,5 | 0,031 | 0,072 | 0,068 | – | – |
| | Антонина | 20,2 | 3,10 | 26,1 | 0,059 | 0,043 | 0,035 | 0,016 | 0,53 |
| | среднее | 22,1 | 3,45 | 2,33 | 0,045 | 0,058 | 0,052 | 0,016 | 0,53 |
| 222 | Юка | 23,0 | 3,50 | 18,8 | 0,029 | 0,064 | 0,062 | – | – |
| | Антонина | 21,9 | 2,85 | 25,7 | 0,069 | 0,063 | 0,032 | 0,020 | 0,38 |
| | среднее | 22,5 | 3,18 | 22,3 | 0,049 | 0,064 | 0,047 | 0,020 | 0,38 |
| 333 | Юка | 23,0 | 3,78 | 22,1 | 0,036 | 0,076 | 0,050 | – | – |
| | Антонина | 22,1 | 3,12 | 27,1 | 0,079 | 0,079 | 0,060 | 0,017 | 0,28 |
| | среднее | 22,6 | 3,45 | 24,6 | 0,058 | 0,078 | 0,055 | 0,017 | 0,28 |
| ПДК, мг/кг [3] | | 240 | 10 | 50 | 0,5 0,3* | 0,1 0,06* | 1,0 | 0,5 | 0,5 |
| * – для детского питания | | | | | | | | | |

Содержание в зерне озимой пшеницы кадмия превышает ПДК для детского питания на 15–30 %, никеля на 10 % на контроле и при использовании беспестицидной технологии (111); использование экологически допустимых технологий (вариант 222) позволяет снизить содержание металлов в продукции до приемлемого уровня [16]. В целом, внесение удобрений способствует снижению содержания тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы. Содержание марганца, меди, цинка, свинца и кобальта снижается с увеличением доз вносимых удобрений по сравнению с контролем: Mn, Zn и Co – 15-20 %; Cu, Pb и Cr – 30-40 %. Наблюдается антагонизм содержания кадмия и цинка в зерне пшеницы, что подтверждает литературные данные по их взаимозаменяемости. Во всех вариантах опыта содержание Mn, Zn, Pb, Cu, Co, Cr в зерне ниже ПДК предусмотренных для питания взрослого человека.

Выводы.

1. Химические средства земледелия оказывают положительное влияние на урожай и качество зерна озимой мягкой пшеницы. Максимальная прибавка урожая была достигнута в условиях экологически допустимой технологии – двойные дозы удобрений (NPK) и применение гербицидов от сорняков – урожайность пшеницы сорта Антонина, предшественник подсолнечник, составила 81,8 ц/га, что на 37% выше в сравнении с экстенсивной технологией. Существенное увеличение содержания в зерне протеина с 13 до 15,3 % и клейковины с 22 до 27,76 % выявлено на вариантах с интенсивной технологией – тройные дозы удобрений (NPK) и применение интегрированной защиты от болезней вредителей и сорняков.

2. Установлена избыточная концентрация подвижного фосфора (1,5 ПДК) при использовании интенсивной технологии выращивания озимой пшеницы сорта Юка при возделывании после люцерны. В этих

условиях максимальные значения урожайности и показателей качества зерна были ниже – урожайность 68,7 ц/га, содержание протеина 14,88 % и клейковины 25,47 %.

3. Выявлен дефицит подвижных форм эссенциально важных микроэлементов для роста и развития озимой пшеницы – меди и цинка – в пахотном слое чернозема выщелоченного в соответствии с агрохимическими и биогеохимическими критериями, что снижает минеральную полноценность зерна по микроэлементам.

4. Отмечено превышение содержания никеля и кадмия в зерне озимой пшеницы по санитарно-гигиеническим нормативам для детского питания (1,1–1,3 ПДК).

Список литературы

1. Шеуджен А. Х. Биогеохимия / А. Х. Шеуджен. Майкоп: Адыгея, 2003. – 1028 с
2. Прошкин В. А. Связь эффективности внесения фосфорных удобрений под озимую пшеницу с агрохимическими свойствами почв / В. А. Прошкин, Е. В. Шаброва, Л. С. Чернова // Плодородие. – 2014. – № 3 (78). – С. 4-6.
3. Малюга Н. Г. Агротехнология, урожай и качество зерна озимой пшеницы на Кубани / Н. Г. Малюга, А. И. Радионов, А. В. Загорулько. – Краснодар: КубГАУ– 2004 –250 с.
4. Эколого-агрохимические аспекты влияния удобрений на баланс тяжелых металлов в почве и продуктивность сельскохозяйственных культур: монография / Н. Г. Гайдукова, И. В. Шабанова, Н. Н. Нещадим, А. В. Загорулько. – Краснодар: КубГАУ, 2016. –289 с.
5. Ермаков В. В. Геохимическая экология / В. В.Ермаков, С. Ф. Тютиков. – М.: Наука. – 2008 – 315 с.
6. Минеев В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – М.: изд-во МГУ, изд-во "КолосС"– 2004 – 720 с.
7. Загорулько А. В. Агроэкологическое обоснование альтернативных технологий выращивания озимой пшеницы на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / А. В. Загорулько, А. М. Кравцов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 35. – С. 322–333.
8. Кравцов А. М. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от технологии выращивания после пропашных предшественников на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / А. М. Кравцов, А. В. Загорулько // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 106. – С. 351–365.
9. Орлов Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, Н. И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005. – 558 с.7.
10. Об экологических рисках, связанных с накоплением свинца и кадмия в зерне озимой пшеницы, выращенной на черноземе выщелоченном Западного

Предкавказья / Н. Н. Нешадим, Н. Г. Гайдукова, И. В. Шабанова, И. И. Сидорова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ, 2008. - Вып. 431(459). - С. 59 - 73.

11. О возможности чернозема выщелоченного Кубани инактивировать особо опасные тяжелые металлы / Н. Г. Гайдукова, Н. А. Кошеленко, И. И. Сидорова, И. В. Шабанова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2010. – № 07(061). – С. 31–44.

12. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений: учебник / Под редакцией Н. Н. Третьякова. – М. Колос, 1998. – 640 с.

13. Dissanayake C.B. Phosphate mineral fertilizers, trace metals and human health / C. B. Dissanayake, Chandraith R. // J. Nath.Sci. Foundation Sri Lanka. – 2009 –V.37(3) –P. 153-165

14. Аристархов А. Н. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность применения цинковых микроудобрений под озимую и яровую пшеницу / А. Н. Аристархов, В. А. Прошкин, А. В. Волков // Агрохимия. – 2014. – № 1. – С. 37-44.

15. Лебедевский И. А. Влияние микроэлементов на продуктивность и качество озимой пшеницы, возделываемой на черноземе выщелоченном западного Предкавказья / И. А. Лебедевский, И. В. Шабанова, Е. А. Яковлева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. – № 82(08). – С. 684-695.

16. Занозина О. Д. Получение экологически чистой зерновой продукции в условиях применения различных доз удобрений / О. Д. Занозина, И. В. Шабанова // Наука и образование в жизни современного общества: сб. науч. тр. Тамбов. – 2015. – С. 37-38.

References

1. Sheudzhen A. N. Biogehimija / A. N. Sheudzhen. Majkop: Adygeja, 2003. – 1028 s

2. Proshkin V. A. Svjaz' jeffektivnosti vnesenija fosfornyh udobrenij pod ozimuju pshenicu s agrohimeskimi svojstvami pochv / V. A. Proshkin, E. V. Shabrova, L. S. Chernova // Plodorodie. – 2014. – № 3 (78). – S. 4-6.

3. Maljuga N. G. Agrotehnologija, urozhaj i kachestvo zerna ozimoj pshenicy na Kubani / N. G. Maljuga, A. I. Radionov, A. V. Zagorul'ko. – Krasnodar: KubGAU– 2004 – 250 s.

4. Jekologo-agrohimeskie aspekty vlijanija udobrenij na balans tjazhelyh metallov v pochve i produktivnost' sel'skohozjajstvennyh kul'tur: monografija / N. G. Gajdukova, I. V. Shabanova, N. N. Neshhadim, A. V. Zagorul'ko. – Krasnodar: KubGAU, 2016. –289 s.

5. Ermakov V. V. Geohimeskaja jekologija / V. V. Ermakov, S. F. Tjutikov. – M.: Nauka. – 2008 – 315 s.

6. Mineev V.G. Agrohimeska / V.G. Mineev. – M.: izd-vo MGU, izd-vo "KolosS"– 2004 – 720 s.

7. Zagorul'ko A. V. Agrojekologicheskoe obosnovanie al'ternativnyh tehnologij vyrashhivaniya ozimoj pshenicy na chernozeme vyshhelochennom Zapadnogo Predkavkaz'ja / A. V. Zagorul'ko, A. M. Kravcov // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2012. – № 35. – S. 322–333.

8. Kravcov A. M. Produktivnost' ozimoj pshenicy v zavisimosti ot tehnologii vyrashhivaniya posle propashnyh predshestvennikov na chernozeme vyshhelochennom Zapadnogo Predkavkaz'ja / A. M. Kravcov, A. V. Zagorul'ko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 106. – S. 351–365.

9. Orlov D. S. Himija pochv / D. S. Orlov, L. K. Sadovnikova, N. I. Suhanova. – M.: Vyssh. shk., 2005. – 558 s.7.
10. Ob jekologicheskikh riskah, svjazannyh s nakopleniem svinca i kadmija v zerne ozimoy pshenicy, vyrashhennoj na chernozeme vyshhelochennom Zapadnogo Predkavkaz'ja / N. N. Neshhadim, N. G. Gajdukova, I. V. Shabanova, I. I. Sidorova // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Krasnodar: KubGAU, 2008. Vyp. 431(459). S. 59–73.
11. O vozmozhnosti chernozema vyshhelochennogo Kubani inaktivirovat' osobo opasnye tjazhelye metally / N. G. Gajdukova, N. A. Koshelenko, I. I. Sidorova, I. V. Shabanova // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 07(061). – S. 31–44.
12. Fiziologija i biohimija sel'skohozjajstvennyh rastenij: uchebnik / Pod redakciej N. N. Tret'jakova. – M. Kolos, 1998. – 640 s.
13. Dissanayake C.B. Phosphate mineral fertilizers, trace metals and human health / C. B. Dissanayake, Chandraith R. // J. Nath.Sci. Foundation Sri Lanka. – 2009 –V.37(3) –R. 153-165
14. Aristarhov A. N. Vlijanie agrohimicheskikh svojstv pochv na jeffektivnost' primenenija cinkovyh mikroudobrenij pod ozimuju i jarovuju pshenicu / A. N. Aristarhov, V. A. Proshkin, A. V. Volkov // Agrohimija. – 2014. – № 1. – S. 37-44.
15. Lebedovskij I. A. Vlijanie mikroelementov na produktivnost' i kachestvo ozimoy pshenicy, vzdelyvaemoj na chernozeme vyshhelochennom zapadnogo Predkavkaz'ja / I. A. Lebedovskij, I. V. Shabanova, E. A. Jakovleva // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. – № 82(08). – S. 684-695.
16. Zanozina O. D. Poluchenie jekologicheski chistoj zernovoj produkcii v uslovijah primenenija razlichnyh doz udobrenij / O. D. Zanozina, I. V. Shabanova // Nauka i obrazovanie v zhizni sovremennogo obshhestva: sb. nauch. tr. Tambov. – 2015. – S. 37-38.