

## МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМ ПИТАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И КУКУРУЗЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА

*А.Н. Есаулко, д.с.-х.н., А.Ю. Ожередова, к.с.-х.н., Е.В. Письменная, д.с.-х.н., А.С. Котова, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, e-mail: [alena.gurieva@mail.ru](mailto:alena.gurieva@mail.ru)*

*Работа выполнена в рамках государственного задания от 25 апреля 2024 года № 082-03-2024-220/3 по теме «Мониторинг развития сельскохозяйственных культур с помощью неинвазивных и дистанционных методов исследования и принятие оперативных мер по корректировке питания и фитосанитарного состояния».*

Исследование проводилось на двух культурах – озимой пшенице (опыт I – заложен в 2023-2025 г.) и кукурузе на зерно (опыт II – заложен в 2024-2025 г.) в рамках Государственного задания на оказание государственных услуг с целью повышения эффективности технологий выращивания сельскохозяйственных культур посредством оперативной коррекции системы минерального питания растений, основанной на современных не инвазивных и дистанционных методах мониторинга состояния посевов. Место проведения исследований – зона неустойчивого увлажнения Ставропольского края (учебно-опытная станция СтГАУ). Оба опыта однофакторные. Опыт I – фактор А – азотная подкормка (Контроль, Фон – N<sub>13</sub>P<sub>60</sub>, Фон + N<sub>35</sub>, Фон + N<sub>51</sub>, Фон + N<sub>70</sub>, Фон + N<sub>87</sub>); Опыт II – фактор А – дозы минеральных удобрений (контроль (без удобрений), N<sub>50</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (рекомендованная), N<sub>70</sub>P<sub>58</sub>K<sub>54</sub> (расчетная на планируемую урожайность 5,0 т/га), N<sub>116</sub>P<sub>90</sub>K<sub>84</sub> (расчетная на планируемую урожайность 8,0 т/га). Сорт озимой пшеницы – Алексеич, гибрид кукурузы на зерно – ДКС 4178. Мониторинг состояния посевов проводят на основе применения вегетационных индексов mSR705 и VOG1, полученных портативным прибором PolyPen RP 410 UVIS (Чехия). Обработка индекса произведена в программе Spectrapen.

Применение инновационных подходов к управлению питанием сельскохозяйственных культур открывает новые перспективы повышения их урожайности и улучшения качества продукции. Уровень урожайности озимой пшеницы существенно возрастает – от 0,70 до 1,83 т/га, а кукурузы – от 2 до 4 т/га. Одновременно наблюдается достоверное увеличение качества производимой продукции. Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы по сравнению с контролем значительно повышается – на 4,4; 7,1; 8,9 и 10,7%, а белка – на 1,9; 3,5; 4,1 и 5,0%. Лучшими дозами азотных подкормок, изменяющими класс зерна, являются N<sub>51</sub>, N<sub>70</sub>, N<sub>87</sub>. Белок в зерне кукурузы применяемые дозы минеральных удобрений, по сравнению с естественным агрохимическим фоном, существенно увеличивают – на 2,5; 3,4 и 4,1%, жир – на 1,0; 1,4 и 1,7%. Но только расчётные дозы доминируют в повышении концентрации крахмала (7,9 и 8,9%). Применение наземного мониторинга позволило определить более высокую взаимосвязь mSR705 (по сравнению с VOG1) и содержания азота в растениях, а также построить модель по определению белка в зерне озимой пшеницы и кукурузы с высокой степенью достоверности (свыше 0,7).

**Ключевые слова:** мониторинг, содержание азота в растениях, урожайность, озимая пшеница, кукуруза, качество, дозы минеральных удобрений, азотные подкормки, вегетационный индекс.

Для цитирования: Есаулко А.Н., Ожередова А.Ю., Письменная Е.В., Котова А.С. Мониторинг влияния систем питания озимой пшеницы и кукурузы на урожайность и качество зерна // Плодородие. – 2025. – №6. – С. 23-28. DOI: 10.25680/S19948603.2025.147.04.

Озимая пшеница и кукуруза на зерно играют ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и экономического благополучия России [1, 7]. Сельскохозяйственные культуры используются для производства хлеба, круп, кондитерских изделий и кормов для животных [4, 11].

Странами-лидерами по средней продуктивности озимых культур сегодня являются Китай (урожайность озимой пшеницы 5,86 т/га) и Ирландия (урожайность кукурузы на зерно 5,43 т/га). В России озимую пшеницу в 2024 г. возделывали на площади 28,506 млн га (или 36,0% от общей посевной площади России), а кукурузу на зерно на 2,62 млн га (3% от общей посевной площади России). Средняя урожайность озимой пшеницы составила 3,04 т/га, кукурузы на зерно – 3,19 т/га [5, 6].

При ведении хозяйствования в РФ товаропроизводители используют традиционные технологические операции и методы, повышающие продуктивность производимой продукции. Внедряют орошение, подбирают

оптимальные технологии обработки почвы, определяют расчетными способами дозы минеральных удобрений исходя из данных паспортов агрохимических обследований, по результатам визуальных мониторингов подбирают средства защиты растений и др. Бесспорно – это очень важно и значимо в современных производственных реалиях. В то же время в США, странах Европы широко используют неинвазивные (дистанционные – беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и наземные спектрорадиометрические) методы для мониторинга посевов на основе спектральной отражательной способности листьев растений [3, 9, 14].

Неинвазивная оценка состояния растительности проводится обычно с применением вегетационных индексов, которых более 160 видов. Значение индексов зависит от густоты растительности, фазы роста и развития сельскохозяйственной культуры, площади листовой поверхности, обводнённости тканей и других факторов [1, 13].

Зарубежные авторы рекомендуют использовать для неинвазивной оценки состояния посевов индексы mSR705 (modified simple ratio) и VOG1 (Vogelmann Red Edge), которые могут определяться в результате наземной съемки таким оптическим датчиком как PolyPen (Чехия). Индексы mSR705 и VOG1 являются модификацией традиционных индексов.

Следует отметить, что в России в последние десятилетия активно предпринимаются попытки по внедрению комплексных подходов (лабораторного анализа и данных, полученных в режиме реального времени на поле) в решение или корректировку технологических задач, стоящих перед аграрным производством [9,10,12].

**Цель наших исследований** – совершенствование технологии возделывания озимой пшеницы и кукурузы на зерно на основе корректировки минерального питания с учетом инвазивных и дистанционных методов мониторинга состояния посевов.

**Методика.** Исследование выполнено на учебно-опытной станции Ставропольского государственного аграрного университета в 2023-2025 г.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный мощный малогумусный тяжелосуглинистый. Имеет следующую агрохимическую характеристику в слое 0-20 см: рН<sub>вод.</sub> 6,4-6,9 ед. (нейтральная), содержание органического вещества (по методу Тюрина) – 4,3-5,2% (среднее); N-NO<sub>3</sub> (установлен ионометрическим методом) – 16-30 мг/кг почвы (среднее, высокое); подвижные формы фосфора и калия (по методу Мачигина) – 24-34 мг/кг (среднее, повышенное) и 228-254 мг/кг (среднее).

Исследования предусматривали работу с двумя культурами – озимая пшеница (опыт I), кукуруза на зерно (опыт II).

**Опыт I.** Объект исследований – озимая пшеница сорта Алексеич. Предмет исследований – азотные подкормки. Контроль – вариант, в котором минеральные удобрения не применяли (естественный агрохимический фон). Фон – N<sub>14</sub>P<sub>60</sub> с внесением аммофоса, 116 кг/га при посеве озимой пшеницы. Все дозы азотных удобрений применяли в фазе весеннего кущения в вариантах: N<sub>35</sub> – 100 кг/га аммиачной селитры, N<sub>51</sub> – 150, N<sub>70</sub> – 200, N<sub>87</sub> – 250 кг/га.

Опыт однофакторный (Фактор А – азотная подкормка) заложен в производственных условиях, повторность опыта трехкратная, ширина делянки – 28 м, длина делянки – 72 м, общая площадь делянки – 2016 м<sup>2</sup>. Предшественник – озимая пшеница.

**Опыт II.** Объект исследований – гибрид кукурузы ДКС 4178. Предмет исследований – дозы минеральных удобрений. Опыт однофакторный (фактор А – дозы минеральных удобрений). Контроль – вариант, в котором минеральные удобрения не применяли (естественный агрохимический фон). Рекомендованная доза N<sub>50</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> установлена в ходе долгосрочного ведения сельскохозяйственной деятельности как оптимальная. Под основную обработку почвы вносили Kx 71 кг/га (K<sub>40</sub>), при посеве 78 кг/га Аф (N<sub>9</sub>P<sub>40</sub>), в подкормку в фазе 4-5 листьев Naa 118 кг/га (N<sub>41</sub>).

Дозы на планируемую урожайность кукурузы на зерно 5,0 и 8,0 т/га определяли ежегодно на основе авторского балансового расчетного метода и в среднем за два года они составили N<sub>70</sub>P<sub>58</sub>K<sub>54</sub> и N<sub>116</sub>P<sub>90</sub>K<sub>84</sub>. В качестве минеральных удобрений использовали аммофос, калий хлористый и аммиачную селитру. Доза на планируемую урожайность 5,0 т/га (N<sub>70</sub>P<sub>58</sub>K<sub>54</sub>) предусматривала применение под основную обработку почвы Naa 78 кг/га

(N<sub>27</sub>) + Kx 96 кг/га (K<sub>54</sub>) + при посеве Аф 104 кг/га (N<sub>13</sub>P<sub>58</sub>) + в подкормку в фазу 4-5 листьев Naa 88 кг/га (N<sub>30</sub>). В варианте с планируемой урожайностью 8,0 т/га (N<sub>116</sub>P<sub>90</sub>K<sub>84</sub>) было внесено под основную обработку почвы Naa 173 кг/га (N<sub>60</sub>) + Kx 154 кг/га (K<sub>86</sub>) + при посеве Аф 173 кг/га (N<sub>21</sub>P<sub>90</sub>) + в подкормку в фазе 4-5 листьев Naa 100 кг/га (N<sub>35</sub>).

Размещение вариантов рендомизированное, повторность опыта трехкратная, ширина делянки – 10 м, длина – 5,6 м. Общая площадь делянки 56 м<sup>2</sup>. Предшественник – озимая пшеница.

Содержание азота в растениях озимой пшеницы и кукурузы определяли титриметрическим методом по Кьельдалю (ГОСТ 134496.4). Урожайность учитывали в соответствии с методиками Госсортоиспытания сельскохозяйственных культур. Определение качественных показателей зерна озимой пшеницы и кукурузы осуществлялось в соответствии с ГОСТами (белок – ГОСТ 10846-91, клейковина – ГОСТ 13586.1-68, ИДК – ГОСТ 27676-88, стекловидность – ГОСТ 10987-76, крахмал – ГОСТ 10845-98, жир – ГОСТ 29033-91). Статистическую обработку экспериментальных данных проводили корреляционно-регрессионным и дисперсионным методами [2]. Обработку вегетационных индексов mSR705 и VOG1, полученную при использовании портативного прибора PolyPen RP 410 UVIS (Чехия), осуществляли в программе Spectrapen.

Для озимой пшеницы лучшим по погодным условиям оказался 2024-2025 сельскохозяйственный год, в котором сумма осадков составила 496,8 мм (больше, чем в 2023-2024 г. на 36,3 мм), а средняя температура – 11,0<sup>0</sup>C (ниже, чем в 2023-2024 г. на 1,5<sup>0</sup>C). При этом оба года исследований по сравнению со среднемноголетними показателями характеризовались снижением количества выпавших осадков (2023-2024 г. на 90,5 мм, 2024-2025 г. на 54,2 мм) и увеличением среднемноголетних температур (2023-2024 г. на 3,3<sup>0</sup>C, 2024- 2025 г. на 1,8<sup>0</sup>C).

Оптимальным по распределению осадков и температур по месяцам для кукурузы стал 2025 г., в допосевной период с января по апрель выпало 157,6 мм осадков, что превысило 2024 г. (на 62,9 мм) и среднемноголетнее значение (на 27,5 мм). Средняя температура составляла 3,4<sup>0</sup>C, что выше среднемноголетнего показателя на 2,1<sup>0</sup>C, но ниже зафиксированных средних температур в 2024 г. на 1,8<sup>0</sup>C. От посева до уборки культуры максимальное количество осадков отмечалось в 2025 г. – 290,5 мм, что выше показателя 2024 г. на 96,9 мм, но ниже среднемноголетнего на 21,5 мм. Оба года имели повышенный температурный режим (2024 г. – 19,4<sup>0</sup>C, 2025 г. – 18,7<sup>0</sup>C) по сравнению со среднемноголетними температурами (17,0<sup>0</sup>C) за период развития кукурузы.

**Результаты и их обсуждение.** *Опыт I.* Применять азотные удобрения в качестве подкормки на озимой пшенице возможно в три фазы ее вегетации: кущение, выход в трубку, колошение. Определенной шкалы оценки обеспеченности растений азотом не существует, есть только справочные данные [8] и современные методики оценки состояния растений. В справочнике представлены данные о содержании азота в растениях озимой пшеницы в соответствующие фазы, которые сопоставлены с уровнем питания: весеннее кущение – очень низкий <2,5%, низкий 2,5-4,9, оптимальный 5,0-6,0, высокий <6,0; выход в трубку – очень низкий <2,0, низкий 2,1-3,1, оптимальный 3,2-4,9, высокий <5,0; колошение – очень низкий <1,5, низкий 1,6-2,0, оптимальный 2,1-3,9, высокий <4,0%.

На основании полученных данных можно утверждать, что все изучаемые в опыте дозы азотных подкормок повышали количество азота в растениях озимой пшеницы по сравнению с контролем (+0,16; 0,29; 0,34; 0,42%) и с вариантом, в котором при посеве внесли 116 кг/га аммофоса (+0,11; 0,24; 0,29; 0,37%). Прибавка по сравнению с контролем достоверна во всех вариантах, а по сравнению с фоном – за исключением варианта с применением подкормки в дозе N<sub>35</sub>.

От фазы кушения к фазе полной спелости происходит существенное снижение концентрации азота в растениях

озимой пшеницы – на 0,71-2,04%, что связано с нарастанием максимальной надземной массы растений и эффектом ростового разбавления. Сходная тенденция наблюдалась по динамике индекса mSR705. Взаимосвязь вегетационных индексов mSR705 и VOG1 с содержанием азота (%) в растениях озимой пшеницы составила в фазы: кушения – 0,69 и 0,55; выхода в трубку – 0,74 и 0,43; колошения – 0,66 и 0,52; полной спелости – 0,08 и - 0,12 соответственно (табл. 1). Индекс mSR705 показал себя как наиболее релевантный.

**1. Влияние азотных подкормок на динамику содержания азота в растениях озимой пшеницы (в среднем за 2023-2025 г.)**

Азотные подкормки (фактор А)	Фаза развития растений (фактор В)											
	конец кушения			выход в трубку			колошение			полная спелость		
	азот, %	mSR705	VOG1	азот, %	mSR705	VOG1	азот, %	mSR705	VOG1	азот, %	mSR705	VOG1
Контроль (б/у)	4,22	3,87	1,40	3,57	3,85	1,40	2,63	3,79	1,36	2,16	1,08	1,01
Фон N <sub>13</sub> P <sub>60</sub>	4,28	3,96	1,14	3,59	3,95	1,14	2,71	3,59	1,17	2,23	1,04	1,01
Фон +N <sub>35</sub>	4,41	3,99	1,15	3,70	3,97	1,15	2,79	3,55	1,34	2,32	1,06	1,01
Фон + N <sub>51</sub>	4,53	3,99	1,20	3,83	3,94	1,26	2,86	3,94	1,38	2,54	1,00	1,01
Фон + N <sub>70</sub>	4,63	4,01	1,32	3,86	4,00	1,41	2,91	4,00	1,40	2,56	1,20	1,01
Фон + N <sub>87</sub>	4,69	4,01	1,33	3,92	4,17	1,40	2,99	4,17	1,39	2,69	1,01	1,01

В фазе кушения среднее содержание макроэлемента по опыту показало низкую его концентрацию, что потребовало внесения подкормок и позволило в фазы выхода в трубку и колошения оптимизировать его содержание.

По результатам неинвазивных методов мониторинга была проведена корректировка подкормки озимой пшеницы возрастающими дозами азотных удобрений. Полученные данные (2024-2025 г.) свидетельствуют о том, что применение только фона N<sub>13</sub>P<sub>60</sub> (116 кг/га при посеве аммофоса) достоверной прибавки урожайности культуры не обеспечивает (+0,23 т/га). Существенное увеличение урожайности по отношению к контролю достигается путем применения на фоне припосевного внесения в фазе кушения возрастающих доз азотных удобрений (+0,70; 1,27; 1,71 и 1,83 т/га).

Но при сравнении с фоном N<sub>13</sub>P<sub>60</sub> существенный эффект от применения азотных удобрений в среднем за

2024-2025 г. отмечается только в вариантах с применением доз N<sub>51</sub>, N<sub>70</sub>, N<sub>87</sub> (табл. 2).

**2. Влияние азотных подкормок на урожайность озимой пшеницы**

Азотные подкормки фактор (А)	Урожайность, т/га	
	2024 г.	2025 г.
Контроль (б/у)	3,74	4,08
N <sub>13</sub> P <sub>60</sub> – Фон (Ф)	3,86	4,42
Ф +N <sub>35</sub>	4,33	4,88
Ф + N <sub>51</sub>	4,88	5,48
Ф + N <sub>70</sub>	5,27	5,96
Ф + N <sub>87</sub>	5,10	6,38
HCP <sub>05</sub>	0,321	0,442

Анализ рисунка 1 и таблицы 3 показал, что азотные удобрения, применяемые в подкормку, способствуют повышению качества зерна и урожайности озимой пшеницы (рис. 1).

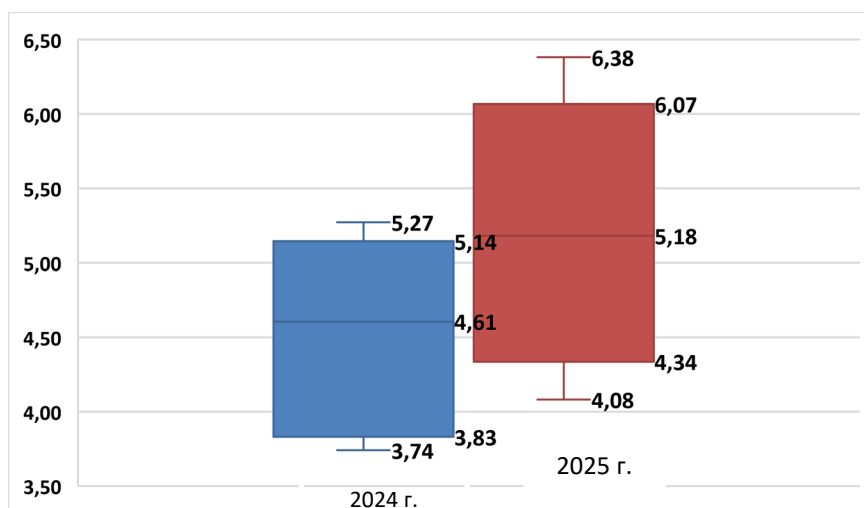


Рис. 1. Диаграмма распределения урожайности озимой пшеницы, т/га

С использованием в подкормку аммиачной селитры наблюдается достоверное повышение по отношению к контролю клейковины – на 4,4; 7,1; 8,9 и 10,7%, белка на 1,9; 3,5; 4,1 и 5,0%. Стекловидность по сравнению с контрольным вариантом существенно возрастает только с применением в подкормку дозы N<sub>87</sub> (+7%). Индекс деформации клейковины с применением удобрений снижается, что указывает на повышение прочности и

эластичности клейковины. По сравнению с фоном достоверная прибавка отмечена по клейковине и белку во всех вариантах, где применяли подкормки. Класс зерна повышается по сравнению с контролем и фоном N<sub>13</sub>P<sub>60</sub> при внесении подкормок в дозах N<sub>51</sub>, N<sub>70</sub>, N<sub>87</sub> (табл. 3).

По годам влияние азотных подкормок на качество зерна озимой пшеницы показано на рисунке 2.

### 3. Влияние азотных подкормок на качество зерна озимой пшеницы

Азотная подкормка	Клейковина, %		Белок, %		Класс зерна		ИДК		Стекловидность, %	
	Год исследований									
	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Контроль (б/у)	18,6	15,4	10,9	9,1	IV	IV	75	78	50	48
N <sub>13</sub> P <sub>60</sub> – Фон (Ф)	19,0	16,8	10,9	9,4	IV	IV	72	80	51	50
Ф + N <sub>35</sub>	23,4	19,4	12,9	10,9	III	IV	65	70	56	50
Ф + N <sub>51</sub>	25,7	22,5	14,5	12,5	III	IV	70	70	56	50
Ф + N <sub>70</sub>	27,4	24,4	15,2	13,0	III	III	70	65	52	50
Ф + N <sub>87</sub>	28,8	26,2	16,0	14,0	II	III	65	60	58	53
НСП <sub>05</sub>	2,0	1,6	1,1	0,8	-	-	-	-	5,2	4,3

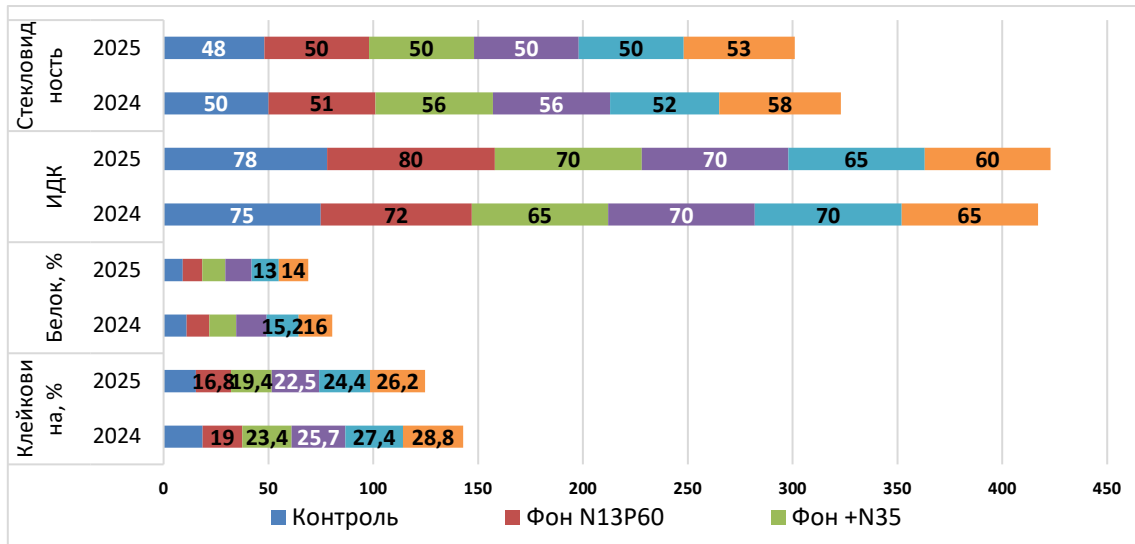


Рис. 2. Влияние азотных подкормок на качество зерна озимой пшеницы

Данные наземного мониторинга позволили определить индекс mSR705 на основе гиперспектральной съемки и рассчитать формулу по определению белка (%) в зерне озимой пшеницы по фазам роста культуры (при R = 0,97; R<sup>2</sup> = 0,94):

$$Y = -111,865 + 31,13499 x_1 - 5,00438 x_2 + 5,637199 x_3, (1)$$

где Y – белок, %; x<sub>1</sub> – показатель индекса mSR705 в фазе кущения; x<sub>2</sub> – показатель индекса mSR705 в фазе выхода в трубку; x<sub>3</sub> – показатель индекса mSR705 в фазе колошения.

Остальные показатели качества зерна озимой пшеницы имели низкую статистическую достоверность.

Опыт II. Подкормку кукурузы на зерно проводят в фазы 3-5 и 8-10 листьев. В исследованиях в соответствии с погодными условиями была возможность осуществить

технологическую операцию только в первую фазу. Согласно данным справочника [8], в фазе 3-5 листьев уровни обеспеченности были таковы: низкий 2,5-3,2%, оптимальный 3,3-4,4, высокий <4,5%.

Применяемые дозы минеральных удобрений увеличивали концентрацию азота в растениях кукурузы по сравнению с контролем на 0,08, 0,11, 0,14%, существенным повышением было только в вариантах с расчетными дозами минеральных удобрений. В фазе 3-5 листьев содержание макроэлемента соответствовало оптимальному значению. Далее оно снижалось к фазе полной спелости. Аналогичная тенденция отмечается и по динамике индексов mSR705 и VOG1. Индекс mSR705 – наиболее релевантный (табл. 4).

### 4. Влияние доз минеральных удобрений на содержание азота в растениях кукурузы (среднее за 2024-2025 г.)

Азотные подкормки (фактор А)	Фаза развития растений (фактор В)								
	3-5-й лист			выметывание метелки			полная спелость		
	азот, %	mSR705	VOG1	азот, %	mSR705	VOG1	азот, %	mSR705	VOG1
Контроль (б/у)	4,07	6,64	6,60	2,00	6,53	6,53	1,48	6,33	6,33
N <sub>50</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (рекомендованная)	4,19	7,69	1,36	2,08	7,59	1,35	1,52	7,43	1,32
N <sub>70</sub> P <sub>58</sub> K <sub>54</sub> (расчетная на планируемую урожайность 5,0 т/га)	4,25	8,48	1,36	2,10	8,24	1,35	1,55	8,00	1,34
N <sub>116</sub> P <sub>90</sub> K <sub>84</sub> (расчетная на планируемую урожайность 8,0 т/га)	4,29	6,48	1,36	2,11	6,38	1,33	1,58	6,36	1,31

Корреляция взаимосвязи вегетационных индексов mSR705 и VOG1 и содержания азота в растениях кукурузы по фазам следующая: 3-5-й лист – 0,56 и 0,51; выметывание метелки – 0,67 и 0,59, полная спелость – 0,49 и 0,47.

Все изучаемые в исследованиях дозы минеральных удобрений за 2024-2025 г. относительно контрольного варианта существенно повышали продуктивность кукурузы на зерно на 1,0; 2,0 и 4,0 т/га (табл. 5).

### 5. Влияние доз минеральных удобрений на урожайность кукурузы на зерно

Доза удобрения (фактор А)	Урожайность, т/га	
	2024 г.	2025 г.
Контроль (б/у)	2,0	3,1
N <sub>50</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (рекомендованная)	2,9	4,3
N <sub>70</sub> P <sub>58</sub> K <sub>54</sub> (расчетная на планируемую урожайность 5,0 т/га)	4,0	5,1
N <sub>116</sub> P <sub>90</sub> K <sub>84</sub> (расчетная на планируемую урожайность 8,0 т/га)	6,1	7,1
НСП <sub>05</sub>	0,42	0,80

Регулируя урожайность при помощи расчетных доз минеральных удобрений, можно получить достоверную прибавку урожайности не только по отношению к естественному агрохимическому фону, но и по сравнению с рекомендованной дозой, полученной при ведении долгосрочных исследований в зоне проведения исследований.

В то же время следует отметить: в 2024 г. средняя урожайность по опыту составила 3,75 т/га (отклонение – 1,3 т/га, разброс значений – 4,1 т/га, диапазон квартиля от 25 до 75% – 3,35 т/га), в 2025 г. – 4,9 т/га (1,2; 4,0; 3,2 т/га соответственно) (рис. 3).

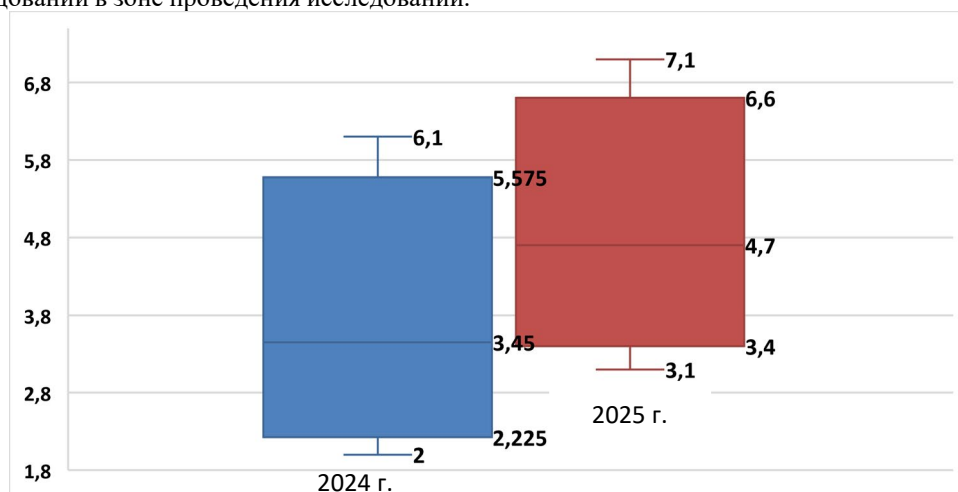


Рис. 3. Диаграмма распределения урожайность кукурузы на зерно, т/га

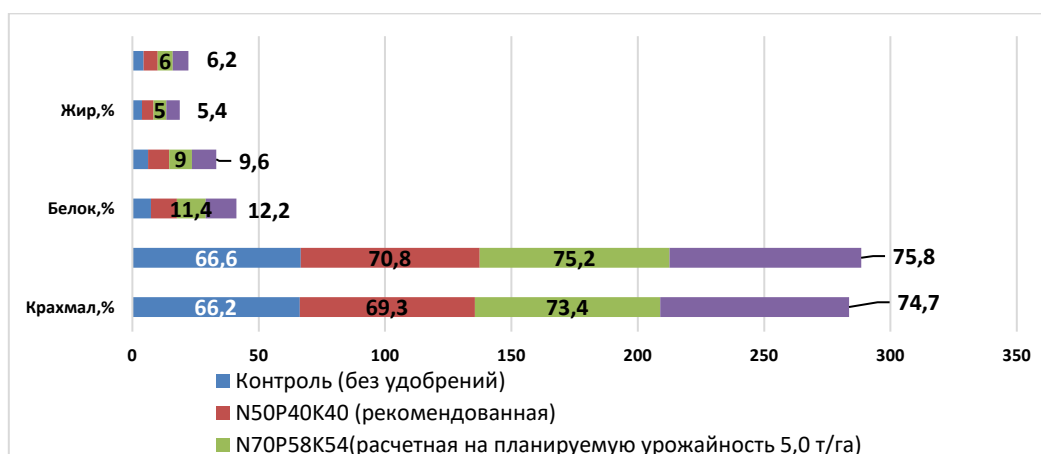


Рис. 4. Влияние доз минеральных удобрений на качество зерна кукурузы

В целом, получить планируемый уровень урожайности 5,0 и 8,0 т/га зерна кукурузы не удалось, что, возможно, связано с внешними условиями (в т.ч. погодными и с отсутствием использования микроудобрений). Полученное зерно кукурузы при анализе показало, что применение всех изучаемых доз минеральных удобрений способствовало существенному повышению по сравнению с контролем белка – на 2,5; 3,4 и 4,1%, жира – на 1,0; 1,4 и 1,7%. Крахмал достоверно увеличивался (на 7,9 и 8,9%) только в вариантах с применением расчетных доз минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 и 8,0 т/га (табл. 6).

Влияние подкормок на качество зерна кукурузы показано на рисунке 4.

Данные наземного мониторинга позволили рассчитать формулу по определению белка (%) в зерне кукурузы по фазам роста (при  $R = 0,86$ ;  $R^2 = 0,75$ ) (2):

$$Y = -139,848 + 241,912 x_1 - 33,132 x_2 - 42,093 x_3, \quad (2)$$

где  $Y$  – белок, %;  $x_1$  – показатель индекса mSR705 в фазе 3-5 листьев;  $x_2$  – показатель индекса mSR705 в фазе выметывания метелки;  $x_3$  – показатель индекса mSR705 в фазе полная спелость.

#### 6. Влияние доз минеральных удобрений на показатели качества зерна кукурузы, %

Доза удобрения (фактор А)	Крахмал		Белок		Жир	
	Год исследований					
	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Контроль (б/у)	66,2	66,6	7,4	6,2	3,8	4,4
N <sub>50</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (рекомендованная)	69,3	70,8	10,2	8,4	4,6	5,6
N <sub>70</sub> P <sub>58</sub> K <sub>54</sub> (расчетная на планируемую урожайность 5,0 т/га)	73,4	75,2	11,4	9,0	5,0	6,0
N <sub>116</sub> P <sub>90</sub> K <sub>84</sub> (расчетная на планируемую урожайность 8,0 т/га)	74,7	75,8	12,2	9,6	5,4	6,2
НСР <sub>05</sub>	4,56	5,84	1,22	0,88	0,48	0,56

Остальные показатели качества зерна озимой пшеницы имели низкую достоверность.

**Выводы.** 1. Урожайность озимой пшеницы зависит от применяемых доз минеральных удобрений и существенно повышается по вариантам опыта (на 0,70; 1,27; 1,71 и 1,83 т/га), а кукурузы на зерно – на 1,0; 2,0 и 4,0 т/га;

2. Регулирование питания озимой пшеницы азотными подкормками способствует достоверной прибавке по отношению к контролю клейковины (4,4; 7,1; 8,9 и 10,7%), белка (1,9; 3,5; 4,1 и 5,0%). Оптимизированное питание

кукурузы на зерно по сравнению с естественным агрохимическим фоном увеличивает концентрацию в зерне белка на 2,5; 3,4 и 4,1%, жира на 1,0; 1,4 и 1,7%, но только расчетные дозы минеральных удобрений достоверно повышают количество крахмала – на 7,9 и 8,9%;

3. Мониторинг влияния систем питания на урожайность и качество зерна озимой пшеницы и кукурузы, базирующийся на применении комплексного подхода (лабораторного анализа и полевой гиперспектральной съемки), достоверно описывает процесс накопления азота в растениях изучаемых сельскохозяйственных культур в период их роста и развития. Полученная модель расчета белка в зерне озимой пшеницы и кукурузы с помощью индекса mSR705 имеет высокую достоверность (по сравнению с индексом VOG1).

#### Литература

1. Влияние азота на фотосинтетическую деятельность и качество зерна озимой пшеницы на выщелоченном черноземе / Е. В. Письменная, В. Н. Ситников, А. Ю. Ожередова, В. В. Корсак // Аграрный научный журнал. – 2025. – № 2. – С. 46-51. DOI 10.28983/asj.y2025i2pp46-51.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Использование прибора Green Seeker® RT200 для мониторинга посевов озимой пшеницы при разных технологиях возделывания / С. В. Железова, Е. В. Березовский, Д. П. Аброськин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2013. – № 1. – С. 56-60.
4. Модели продуктивности растений кукурузы в зависимости от подкормок комплексными удобрениями при выращивании в Центральной зоне Краснодарского края / А. Х. Шеуджен, О. А. Подколзин, Д. К. Марченко // Агрохимический вестник. – 2025. – № 3. – С. 3-7. DOI 10.24412/1029-2551-2025-3-001.
5. Мониторинг развития растений кукурузы на зерно на черноземе выщелоченном с использованием не инвазивных и традиционных

методов определения агрохимических показателей почвенного плодородия и химического состава растений / А. Н. Есаулко, А. Ю. Ожередова, Е. В. Письменная, Е.А. Устименко, А.С. Котова // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2024. – Т. 61-4. – С. 25-33. DOI 10.54258/20701047 2024 61 4 25.

6. Мониторинг развития растений озимой пшеницы на черноземе выщелоченном с использованием не инвазивных и традиционных методов определения содержания азота почва – растения / В. Н. Ситников, А. Н. Есаулко, Е. А. Устименко, Е.В. Письменная, А.С. Котова // International Agricultural Journal. 2024. Т. 67, № 6. DOI 10.55186/25880209 2024 8 6 32.
7. Сычев, В. Г. Факторы эффективности минеральных удобрений // Плодородие. – 2025. – № 3. – С. 4-7. DOI 10.25680/S19948603.2025.144.01.
8. Церлинг, В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур / В.В. Церлинг; М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
9. Цифровой мониторинг показателей агроэкосистем на основе космических и беспилотных технологий / О. А. Оленин, С. Н. Зудилин, Ю. В. Осоргин // Пермский аграрный вестник. – 2019. – № 3(27). – С. 53-61.
10. Estimation of Winter Wheat Canopy Chlorophyll Content Based on Canopy Spectral Transformation and Machine Learning Method / X. Chen, F. Li, B. Shi, K. Fan, Zh. Li, Q. Chang // Agronomy. 2023. Vol. 13, No. 3. P. 783. DOI 10.3390/agronomy13030783.
11. Predicting In-Season Corn Grain Yield Using Optical Sensors / C. Oglesby, A. A. A. Fox, G. Singh, Ja. Dhillon // Agronomy. 2022. Vol. 12, No. 10. P. 2402. DOI 10.3390/agronomy12102402.
12. Vogelmann, J.E., Rock, B.N. u Moss, D.M 1993. Measurements of the red edge spectrum of sugar maple leaves. International Journal of Remote Sensing, 14 (8), стр. 1563-1575. DOI 10.1080/01431169308953986.
13. QTL Analysis of Yield and End-Use Quality Traits in Texas Hard Red Winter Wheat / M. Dogan, Zh. Wang, M. Cerit, J.L. Valenzuela-Antelo, S. Dhakal, Ch. Chu, Q. Xue, A.M.H. Ibrahim, Ja.C. Rudd, A. Bernardo, P. St. Amand, G. Bai, H. Zhang, Sh. Liu // Agronomy. 2023. Vol. 13, No. 3. P. 689. DOI 10.3390/agronomy13030689.
14. Weiss, M.; Jacob, F.; Duveiller, G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. Remote Sens. Environ. 2020, 236, 111402.

## MONITORING THE IMPACT OF FEEDING SYSTEMS ON YIELD AND GRAIN QUALITY INDICATORS WINTER WHEAT AND CORN

**A.N. Esaulko, doctor of agricultural sciences Sciences, Professor of the Department of Agrochemistry and Plant Physiology, Professor of the Russian Academy of Sciences,**

**A.Yu. Ozheredova, Ph.D. Sci., Associate Professor, Department of Agrochemistry and Plant Physiology, E.V. Pismennaya, doctor of agricultural Sciences, Professor of the Department of Land Management, Cadastre and Landscape Architecture,**

**A.S. Kotova, Senior Lecturer, Department of Agrochemistry and Plant Physiology Stavropol State Agrarian University,**

**355017, Stavropol, the lane Zootechnicheskij12, e-mail: [alena.gurueva@mail.ru](mailto:alena.gurueva@mail.ru)**

The study was conducted on two crops: winter wheat (experiment I, planned for 2023-2025) and grain corn (experiment II, planned for 2024-2025) within the framework of the State assignment for the provision of public services in order to improve the efficiency of crop cultivation technologies through prompt correction of the plant mineral nutrition system based on modern non-invasive and remote methods of crop monitoring. The location of the study was the unstable moisture zone of the Stavropol Territory (training and experimental station of the Stavropol State Agrarian University). Both experiments were single-factor. Experiment I – factor A – nitrogen fertilization (Control, Background  $N_{13}P_{60}$ , Background +  $N_{35}$ , Background +  $N_{51}$ , Background +  $N_{70}$ , Background +  $N_{87}$ ); Experiment II – Factor A – mineral fertilizer rates (control (without fertilizer)),  $N_{50}P_{40}K_{40}$  (recommended),  $N_{70}P_{58}K_{54}$  (estimated for a planned yield of 5.0 t/ha),  $N_{116}P_{90}K_{84}$  (estimated for a planned yield of 8.0 t/ha). Winter wheat variety – Alekseevich, grain corn hybrid – DKS 4178. Monitoring of crop conditions is carried out based on the use of vegetation indices mSR705 and VOG1, obtained using the portable device PolyPen RP 410 UVIS (Czech Republic). The index was processed using Spectrapen software.

The use of innovative approaches to crop nutrition management opens up new prospects for increasing crop yields and improving product quality. Winter wheat yields significantly increased by 0.70 to 1.83 t/ha, and corn yields by 2 to 4 t/ha. At the same time, a reliable increase in the quality indicators of the manufactured products is observed. Gluten in winter wheat grain, compared to the control, significantly increases by 4.4; 7.1; 8.9 and 10.7%, and protein increases by 1.9; 3.5; 4.1 and 5.0%. The best doses of nitrogen fertilizers that change the grain class are  $N_{51}$ ,  $N_{70}$ ,  $N_{87}$ . Protein and fat in corn grain, the applied rates of mineral fertilizers, compared to the natural agrochemical background, significantly increase by 2.5; 3.4 and 4.1%, fat by 1.0; 1.4 and 1.7%. But only the calculated rates dominate in increasing the concentration of starch (7.9 and 8.9%). The use of ground-based monitoring made it possible to determine a higher correlation between mSR705 (compared to VOG1) and nitrogen content (%) in plants, as well as to construct a model for determining protein (%) in winter wheat and corn grain with a high degree of reliability (over 0.7).

Keywords: monitoring, nitrogen content in plants, yield, winter wheat, corn, quality, mineral fertilizer rates, nitrogen fertilization, vegetation index.