

*На правах рукописи*

**Кочкин Александр Сергеевич**

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ  
НА УРОЖАЙНОСТЬ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО  
НА ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ**

06.01.04 – агрохимия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Ставрополь – 2010

Работа выполнена на кафедре агрохимии  
ФГОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет»

**Научный руководитель:** доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор  
**Есаулко Александр Николаевич**

**Официальные оппоненты:** доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор  
**Цховребов Валерий Сергеевич**

кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент  
**Гужвин Сергей Александрович**

**Ведущая организация:** Государственное научное  
учреждение «Всероссийский  
научно-исследовательский институт  
масличных культур  
имени В. С. Пустовойта» РАСХН

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 г. в \_\_\_\_ часов на  
заседании диссертационного совета Д 220.062.03 при ФГОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет» по адресу: 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, ауд. 4, тел/факс (8652) 34-58-70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет».

Автореферат размещён на официальном сайте ФГОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет»: <http://www.stgau.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета

**А. П. Шутко**

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В арсенале агрохимической науки имеется достаточно разработок, внедрение которых позволяет использовать удобрения с высокой эффективностью, что существенно снижает или предотвращает потери биогенных элементов в окружающую среду и тем самым положительно сказывается на экологической ситуации в целом. Стержнем этой проблемы является оптимизация питания растений и применения удобрений с учётом требований культуры, плодородия почвы, планируемого урожая во взаимосвязи со всеми звеньями современного научного земледелия.

В последние годы в хозяйствах Ставропольского края сельскохозяйственные производители проявляют большой интерес к льну масличному. Так, посевные площади под данной культурой в крае в период с 2001 по 2009 гг. увеличились с 2,6 до 66 тыс. га. В то же время достигнутый уровень урожайности культуры льна масличного 14–18 ц/га не отвечает потенциальным возможностям районированных сортов. Одной из причин является отсутствие рекомендаций по применению минеральных удобрений в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края. Научой и практикой подчеркивается, что у льна масличного, как не у многих сельскохозяйственных культур, существует особая реакция на удобрения. Эта реакция зависит от биологических особенностей сорта, почвенно-климатических условий зоны выращивания и погодных условий.

В связи с этим диссертационная работа посвящена изучению особенностей питания льна масличного, возделываемого на чернозёме выщелоченном в умеренно влажной зоне Ставропольского края и влиянию минеральных удобрений на его продуктивность.

**Цели и задачи исследований.** Основная цель исследований заключалась в изучении влияния минеральных удобрений на урожайность и качества маслосемян льна масличного на черноземе выщелоченном.

### **В задачу исследований входило:**

- изучить влияние минеральных удобрений на динамику агрохимических свойств чернозема выщелоченного;
- установить влияние удобрений на биометрические показатели роста и химический состав растений льна масличного;
- определить урожайность и качество семян льна масличного в зависимости от условий питания;
- дать агроэкономическую оценку эффективности изучаемых приёмов.

**Научная новизна.** Впервые на чернозёме выщелоченном Ставропольской возвышенности, на границе зон неустойчивого и умеренного увлажнения дана сравнительная оценка влияния доз минеральных удобрений на показатели почвенного плодородия, урожайность и качество продукции льна масличного.

Определена экономическая эффективность применения минеральных удобрений под лен масличный.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается большим количеством наблюдений и учётов лабораторных и полевых опытов, а также кри-

териями статистической обработки результатов исследований и положительными результатами при внедрении.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- динамика агрохимических показателей в 0–20 см слое чернозёма выщелоченного в течение вегетации льна масличного определяется временным фактором и минеральными удобрениями;
- динамика элементов питания в растениях льна масличного зависит от уровня минерального питания и фазы развития культуры;
- влияние минеральных удобрений на урожайность и качество семян льна масличного определяется количеством и соотношением в удобрениях элементов питания;
- экономическая эффективность применения минеральных удобрений под лен масличный зависит от уровня урожайности льна масличного.

**Практическая значимость.** Разработаны и рекомендованы производству оптимальные дозы минеральных удобрений под лен масличный, обеспечивающие максимальную агротехническую и экономическую эффективность, отвечающие направлению их использования. При возделывании льна масличного на черноземе выщелоченном в условиях неустойчивого увлажнения Ставропольской возвышенности установлены значения коэффициентов использования питательных веществ из удобрений и почвы.

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследований апробированы в СПК-колхоз «Дубовский», Шпаковского района. Расчетная доза минеральных удобрений используется в технологии возделывания льна масличного в хозяйстве.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-практических конференциях Ставропольского государственного аграрного университета (2008–2010 гг.).

**Публикация результатов исследований.** По материалам диссертации опубликованы 4 работы, в том числе 1 статья в журнале, входящем в перечень ВАК Министерства образования и науки РФ.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов и предложений производству, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, включает 19 таблиц, 16 рисунков, 21 приложение. Список использованной литературы включает 172 источника, из них – 29 зарубежных авторов.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**2.1. Литературный обзор.** На основе анализа научной литературы обобщено состояние изученности проблемы, представленной в диссертационной работе. Дан обзор научных трудов отечественных и зарубежных ученых по оценке влияния минеральных удобрений на урожайность и качество семян льна масличного в различных почвенно-климатических зонах.

**2.2. Условия и методика проведения исследований.** Место проведения полевых исследований – опытная сельскохозяйственная станция Ставрополь-

ского государственного аграрного университета, расположенная в 17 км юго-восточнее города Ставрополя. Сроки исследований – 2008–2010 гг. Рельеф местности: макрорельеф – Ставропольская возвышенность, мезорельеф – северный пологий склон с крутизной около 7°, микрорельеф – ровное место.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный, мощный, тяжело-суглинистый, который характеризуется средним содержанием гумуса (5,1–5,4 %), подвижного фосфора (22–25 мг/кг по Мачигину), средней нитрификационной способностью (16–30 мг/кг) и повышенным – обменного калия (220–260 мг/кг). Реакция почвенного раствора в верхних горизонтах почвы нейтральная, рН находится в пределах 6,1–6,7.

Почва опытного участка среднеобеспечена марганцем – 17 мг/кг почвы, имеет низкое содержание подвижного цинка – 0,7 мг/кг и высоко обеспечена подвижным бором – 2,91 мг/кг и серой – 13,2 мг/кг почвы. Среднее содержание тяжёлых металлов в 0–20 см слое почвы не превышает ПДК и составляет: меди – 12,5 мг/кг, кобальта – 7,2 мг/кг почвы.

Землепользование сельскохозяйственной опытной станции СтГАУ по условиям влагообеспеченности находится на границе зон умеренного и неустойчивого увлажнения. По средним многолетним данным в зоне проведения опытов в год выпадает 550–650 мм осадков, в т. ч. в период активной вегетации растений – 450–470 мм. Сумма эффективных температур за период активной вегетации колеблется от 3000 до 3200 °С. Гидротермический коэффициент 1,1–1,3.

Годы проведения исследований характеризовались как засушливые, с неравномерным распределением осадков во время вегетации культуры на фоне повышенного температурного режима. Наиболее благоприятные агрометеорологические условия для формирования урожая льна масличного сложились в 2008 г.: оптимальное распределение осадков во время вегетации льна масличного сочеталось с умеренным температурным режимом. Количество осадков за вегетацию культуры в 2009 и 2010 гг. уступало среднемноголетней норме 21,6 и 41,2 % соответственно, а среднесуточная температура превосходила многолетнюю норму в период формирования коробочек на +1,8–3,8 °С.

Опыт по изучению влияния минеральных удобрений на урожайность и качество семян льна масличного проводился согласно следующей схеме:

1. Контроль (естественный агрохимический фон).
2.  $N_{60} P_{60} K_{20}$  – рекомендованная.
3.  $N_{42} P_{56} K_{34}$  – расчетная (средняя за 3 года).
4.  $N_{60} P_{90} K_{20}$  – на повышение масличности.
5.  $N_{90} P_{60} K_{20}$  – на получение максимальной урожайности.

Расчетная доза минеральных удобрений устанавливалась по результатам текущих анализов в соответствии с уровнем программируемой урожайности (20 ц/га) на основе методики В. В. Агеева (2006) и ежегодно уточнялась.

Схема опыта построена по методу организованных повторений, опыт – однофакторный, повторность – 4-кратная. Ширина делянки – 3,2 метров, длина делянки – 10 м. Общая площадь делянки – 32 м<sup>2</sup>, учётная – 30 м<sup>2</sup>. Ширина защитных полос – 0,3 м.

В качестве объекта исследований изучался районированный для Северо-Кавказского региона сорт льна масличного – ВНИИМК 630. В качестве предмета исследований были использованы следующие минеральные удобрения: аммиачная селитра, нитроаммофоска, аммофос. Удобрения вносились под весеннюю культивацию на глубину 10–12 см.

Технология возделывания льна масличного соответствовала рекомендациям для Центральной зоны Ставропольского края. Предшественник льна масличного – озимая пшеница.

В опыте были использованы методы исследований: лабораторные и полевые. Полевые опыты сопровождались следующими анализами, учетами и наблюдениями: фенологические наблюдения, динамика линейного роста растений, определение структуры урожая по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1983); динамика накопления сухой массы льна масличного и его химического состава по Б. А. Ягодину (1987); расчет баланса и коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений по В. В. Агееву (2006); учёт урожая семян – сплошным методом с пересчетом на стандартную влажность и чистоту; качество растениеводческой продукции: сырой протеин – по содержанию общего азота с последующим пересчетом (Б. А. Ягодин, 1987), масличность семян методом исчерпывающей экстракции диэтиловым эфиром на аппарате Сокслета – по ГОСТ 10867–64; йодное число масла методом рефрактометрии.

В почвенных образцах определяли содержание подвижного фосфора и обменного калия по Мачигину (ГОСТ 26205–91); нитратного азота ионометрическим методом (ГОСТ 26204–91); pH почвы – в водной суспензии (ГОСТ 26423–85); влажность почвы весовым методом по Б. А. Доспехову (1987 г.).

Отборы почвенных проб для агрохимического анализа на содержание элементов питания производился с горизонта 0–20 см, при определении влажности – на глубину 1 м (послойно через 10 см) в следующие фенологические фазы культуры: всходы, фаза «елочки», цветение, зеленая спелость, полная спелость.

Экономическая эффективность систем удобрений рассчитана по технологическим картам, с использованием действующих нормативных затрат и цен (2010 г.); статистическая обработка экспериментальных данных методом дисперсии и регрессионно-корреляционного анализа (Б. А. Доспехов, 1985).

### **3. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

#### **3.1. Влияние минеральных удобрений на динамику продуктивной влаги в почве в посевах льна масличного**

В условиях неустойчивого увлажнения Ставропольского края влага является основным лимитирующим фактором в формировании продуктивности выращиваемых сельскохозяйственных культур, в том числе и льна масличного. Независимо от фона питания динамика продуктивной влаги в 0–100 см

слое почвы в посевах льна масличного имела единый ход: это неуклонное снижение её запасов в течение вегетации культуры с достижением минимальных значений перед уборкой (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика запасов продуктивной влаги в 0–100 см слое чернозема выщелоченного в течение вегетации льна масличного, среднее за 2008–2010 гг., мм

Удобрение, кг/га д. в. (А)	Фаза развития (В)					НСР <sub>05</sub> <sup>А</sup> = 4,29
	Всходы	«Ёлочка»	Цветение	Зеленая спелость	Полная спелость	
Контроль	175,2	164,5	132,5	80,6	75,2	125,6
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>20</sub>	174,7	162,1	128,2	76,5	73,3	123,0
N <sub>42</sub> P <sub>56</sub> K <sub>34</sub>	175,8	163,2	130,6	78,2	74,0	124,4
N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>20</sub>	176,0	161,7	126,1	75,1	72,1	122,2
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>20</sub>	174,4	158,6	124,4	71,2	65,9	118,9
В, НСР <sub>05</sub> = 13,4	175,2	162,0	128,4	76,3	72,1	НСР <sub>05</sub> = 9,58
						S <sub>x</sub> = 3,82 %

Согласно результатам дисперсионного анализа достоверное снижение продуктивной влаги в метровом слое почвы в течение вегетации льна масличного проявляется лишь в периоды максимального водопотребления культуры – «елочка» – цветение» и «цветение – зеленая спелость». Все изучаемые в опыте дозы минеральных удобрений несущественно снижали запасы продуктивной влаги в 0–100 см слое почвы. Лишь внесение N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>20</sub> достоверно уменьшало ее запасы по сравнению с контролем. Максимальный расход влаги на естественном агрохимическом фоне нами отмечается в межфазные периоды «елочка» – цветение» и «цветение – зеленая спелость», который соответственно составлял 32 и 51,9 мм.

Все изучаемые в опыте дозы минеральных удобрений, в целом не изменяя направленности динамики запасов продуктивной влаги на естественном агрохимическом фоне, приводили к их незначительному сокращению в метровом слое чернозема выщелоченного, и разница по отношению к фону в зависимости от дозы составляла: в фазу «елочки» – 1,3–5,9 мм, в фазу цветения – 1,9–8,1 мм, в фазу зеленой спелости – 2,4–9,4 мм, в фазу полной спелости – 1,2–9,3.

Множественный корреляционно-регрессионный анализ позволил подтвердить наличие ярко выраженного критического периода в водопотреблении культуры, приходящегося на межфазный период «елочка» – цветение», что выражается тесной связью между урожайностью культуры и влагообеспеченностью ее посевов в эти фазы (R=0,79). Значения парных коэффициентов корреляции (r = 0,79 и 0,75 для соответствующих фаз) указывают на то, что влагообеспеченность культуры в критический момент в большей сте-

пени определялась запасами влаги в фазу «елочки». Высокая существенная связь между урожайностью и содержанием влаги в почве в эту фазу выражается следующим уравнением:  $Y = -8,31 + 0,06X$ , где  $Y$  – урожайность культуры, т/га;  $X$  – запасы влаги в метровом слое почвы в фазу «елочки», мм.

После цветения, помимо водопотребления культуры, на динамику анализируемого показателя всё большее влияние начинает оказывать действие абиотических факторов (в виде высоких температур воздуха и низкой его влажности). По этой причине в межфазный период «цветение – зеленая спелость» происходило наиболее существенное снижение запасов продуктивной влаги, и разница по сравнению с предыдущим сроком отбора проб в среднем за три года варьировала в зависимости от варианта опыта в пределах 52,1–53,2 мм.

Максимальные коэффициенты водопотребления соответствуют году с наибольшим увлажнением (2009) – 16,5–31,7 мм/ц, а минимальный расход воды на создание единицы урожая отмечается в годы с оптимальным распределением осадков по вегетации (2008) – 8,8–10,6 мм/ц и с крайне засушливыми условиями в период вегетации культуры (2010) – 13,2–17,7 мм/ц.

Следует отметить, что изучаемые минеральные удобрения оказали наиболее существенное влияние на коэффициент водопотребления льна масличного в 2009 году, снизив данный показатель относительно контроля на 31,8–47,9 % и наоборот, в засушливых 2008 и 2010 годах разница с контролем была минимальной и составляла 10,3–16,9 и 13,5–25,4 % соответственно.

Применение расчетной дозы минеральных удобрений  $N_{42}P_{56}K_{34}$  оказалось наиболее эффективной в засушливые годы (2008 и 2010), способствуя более продуктивному использованию почвенной влаги посевами льна масличного. Коэффициент водопотребления на этом варианте оказался минимальным и составлял соответственно годам 8,8 и 13,0 мм/ц.

## **3.2. Влияние оптимизации минерального питания на динамику агрохимических показателей почвы**

### **3.2.1. Реакция почвенного раствора**

В период проведения исследования на контрольном варианте реакция почвенной среды вне зависимости от срока отбора проб была слабокислой, а ее изменение в течение вегетации культуры определялось микробиологической и главным образом деятельностью корневой системы самих растений льна масличного. Поскольку по мере роста и развития растений наблюдается увеличение интенсивности потребления элементов питания, пик которого приходится на начало цветения культуры, то закономерно, что параллельно этому процессу происходило и снижение значений рН почвы (табл. 2).

Данные дисперсионного анализа, приведенные в таблице 2, показывают, что существенное подкисление почвенного раствора отмечается в межфазный периодом «елочка» – цветение», совпадающим с периодом максимального потребления элементов льном масличным. На последующих этапах развития культуры с уменьшением интенсивности поглощения элементов питания из



почвы и в силу высокой буферной способности последней отмечался обратный процесс – подщелачивание до уровня, характерного для начала вегетации культуры.

Таблица 2 – Влияние минеральных удобрений на реакцию почвенного раствора в 0–20 см слое чернозема выщелоченного в течение вегетации льна масличного, среднее за 2008–2010 гг.

Удобрение, кг/га д. в (А)	Фаза развития (В)					$A_2$ НСП <sub>05</sub> = 0,07
	Всходы	«Ёлочка»	Цветение	Зеленая спелость	Полная спелость	
Контроль	6,10	6,07	6,01	6,04	6,13	6,07
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>20</sub>	6,03	5,99	5,86	5,94	6,02	5,97
N <sub>42</sub> P <sub>56</sub> K <sub>34</sub>	5,96	5,92	5,82	5,93	5,98	5,92
N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>20</sub>	5,97	5,90	5,79	5,89	5,94	5,90
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>20</sub>	5,85	5,80	5,71	5,82	5,90	5,81
В, НСП <sub>05</sub> = 0,07	5,98	5,93	5,84	5,92	5,99	НСП <sub>05</sub> = 0,12
						S <sub>x</sub> = 0,72 %

В среднем за три года исследований в зависимости от дозы удобрений снижение значение рН на удобренных вариантах по отношению к фону составляло (в отн. ед.): в фазы всходов – 0,07–0,25; «елочки» – 0,08–0,27; цветения – 0,15–0,30; зеленой спелости – 0,10–0,18; полной спелости – 0,09–0,23.

Из всех изучаемых в опыте доз удобрений наибольшему подкислению способствовала норма N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>20</sub> очевидно в силу внесения с ней большей доли физиологически кислой аммиачной селитры в сравнении с другими вариантами опыта. Методом множественного корреляционно-регрессионного анализа удалось выявить тесную связь между значениями реакции почвенной среды в течение всего периода вегетации и урожайностью культуры ( $r=0,78$ ). Учитывая, что массовое потребление питательных элементов льном масличным приходится на межфазный периоду «елочка» – цветение», то закономерно отмечается довольно высокая связь между изучаемыми признаками в фазу «елочки».

Установленная линейная регрессия изображена выражена в виде уравнения  $Y = -19,67 + 126,82/X$ , ( $r=0,753$ ), где Y – урожайность культуры, т/га; X – уровень кислотности почвы (рН) в фазу «елочки»; r – коэффициент парной корреляции.

### 3.2.2. Нитратный азот

Согласно результатам дисперсионного анализа на протяжении практически всей вегетации льна масличного наблюдалось достоверное снижение содержания нитратного азота с достижением минимальных значений к фазе зеленой спелости. При этом наиболее резкое снижение концентрации нитратов происходило в межфазный период «елочка» – цветение», что совпадает с периодом максимального потребления азота растениям льна масличного.

Таблица 3 – Влияние минеральных удобрений на содержание (мг/кг почвы) нитратного азота в 0–20 см слое чернозема выщелоченного в течение вегетации льна масличного, среднее за 2008–2010 гг.

Удобрение, кг/га д. в (А)	Фаза развития (В)					НСП <sub>05</sub> <sup>А</sup> = 3,17
	Всходы	«Ёлочка»	Цветение	Зеленая спелость	Полная спелость	
Контроль	24,0	18,3	7,2	5,0	5,3	11,9
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>20</sub>	36,5	28,2	12,7	8,3	8,5	18,8
N <sub>42</sub> P <sub>56</sub> K <sub>34</sub>	29,5	23,5	10,8	6,0	6,4	15,2
N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>20</sub>	35,9	26,5	11,2	7,6	7,4	17,7
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>20</sub>	44,7	35,2	14,2	8,9	9,3	22,5
В, НСП <sub>05</sub> = 3,17	34,1	26,3	11,2	7,2	7,4	НСП <sub>05</sub> = 6,78
						S <sub>x</sub> = 4,3 %

Изучаемые в опыте дозы удобрений, не изменяя в целом направленности вышеописанной на естественном агрохимическом фоне динамики, оказывали положительное влияние на содержание нитратов в пахотном слое чернозема выщелоченного. Во все сроки отбора проб содержание нитратного азота на удобренных вариантах было существенно выше, чем на контроле и в зависимости от дозы удобрений разница по отношению к варианту без применения удобрений составляла (мг/кг почвы): в фазу всходов – 4,5–20,7; фазу «елочки» – 5,2–16,9; фазу цветения – 3,6–7,0; в фазу зеленой спелости – 1,0–3,9; фазу полной спелости – 1,1–4,0.

Максимальное содержание нитратов в пахотном слое почвы отмечалось на варианте с применением нормы N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>20</sub>, где, очевидно, из-за наибольшей дозы азота в составе нормы удобрений значение анализируемого показателя достоверно превышало не только контроль (в 1,8 раза), но и другие удобренные варианты (в 1,2–1,5 раза). Между остальными удобренными вариантами опыта существенной разницы в содержании нитратного азота выявлено не было.

Результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа выявили тесную связь между содержанием нитратного азота в почве в течение всего периода вегетации и урожайностью культуры (r=0,95). При этом, учитывая тот факт, что наибольшее потребление азота льном масличным относится к межфазному периоду «елочка» – цветение», существенная и довольно высокая связь между изучаемыми признаками отмечалась в фазу «елочки». Установленная линейная регрессия выражена в виде уравнения  $Y = 0,28 + 0,067X$ , (r=0,824), где Y – урожайность культуры, т/га; X – содержание нитратного азота в пахотном слое почвы в фазу «елочки», мг/кг почвы; r – коэффициент парной корреляции.

### 3.2.3. Подвижный фосфор

В течение вегетации льна масличного изменение концентрации подвижного фосфора в 0–20 см слое чернозема выщелоченного на естественном агрохимическом фоне характеризовалось устойчивым снижением, достигая минимальных значений в фазу полной спелости. Согласно результатам дисперсионного анализа существенное снижение содержания подвижного фосфора отмечается в межфазные периоды «елочка» – цветение» и «цветение – зеленая спелость», что связано с наличием двух пиков в потреблении элемента у льна масличного (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние минеральных удобрений на содержание (мг/кг почвы) подвижного фосфора в 0–20 см слое чернозема выщелоченного в течение вегетации льна масличного, среднее за 2008–2010 гг.

Удобрение, кг/га д. в (А)	Фаза развития (В)					A, HCP <sub>05</sub> = 2,2
	Всходы	«Ёлочка»	Цветение	Зеленая спелость	Полная спелость	
Контроль	24,2	23,1	19,3	17,2	17,0	20,2
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>20</sub>	30,5	28,4	23,4	19,9	19,5	24,3
N <sub>42</sub> P <sub>36</sub> K <sub>34</sub>	30,0	27,5	22,5	19,1	18,6	23,5
N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>20</sub>	36,3	34,0	28,4	24,4	23,5	29,3
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>20</sub>	29,4	26,8	20,9	18,0	17,8	22,6
B, HCP <sub>05</sub> = 2,2	30,1	28,0	22,9	19,7	19,3	HCP <sub>05</sub> = 4,3
						S <sub>x</sub> = 4,12

Применение минеральных удобрений, не изменяя направленности изменения концентрации подвижного фосфора в течение вегетации льна масличного, способствовало существенному увеличению содержания элемента в 0–20 см слое чернозема выщелоченного по отношению к естественному агрохимическому фону. В зависимости от дозы внесения минеральных удобрений разница между контролем и удобренными вариантами колебалась в пределах следующих значений (в мг/кг почвы): в фазу всходов – 5,2–10,1; фазу «елочки» – 6,7–10,9; фазу цветения – 1,6–7,1; в фазу зеленой спелости – 0,8–7,2; фазу полной спелости – 0,8–6,5. Во все сроки отбора проб максимальное содержание подвижных форм фосфора отмечалось на варианте с применением дозы, направленной на повышение масличности семян льна – N<sub>60</sub>P<sub>90</sub>K<sub>20</sub>, в силу того, что доза фосфора в ней превосходила другие изучаемые нормы удобрений в 1,5–2 раза.

Следует отметить, что минимальные значения содержания фосфора, существенно уступающие другим удобренным вариантам, наблюдались на фоне применения дозы – N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>20</sub>, даже несмотря на одинаковую (по отношению к рекомендуемой норме – N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>20</sub>) и большую (по отношению к расчетной

норме –  $N_{42}P_{56}K_{34}$ ) дозу фосфора в их составах. В среднем за вегетацию анализируемый показатель на данном варианте превышал контроль всего на 10,6 %, что возможно объяснить более интенсивным поглощением из почвы растениями льна доступных форм фосфора на фоне повышенной обеспеченности минеральным азотом, складывающейся от внесения большей дозы азота в составе нормы удобрения.

### 3.2.4. Обменный калий

В период проведения исследований максимальное содержание обменного калия на всех вариантах опыта нами отмечалось в фазу всходов, а в последующем происходило устойчивое снижение концентрации элемента с достижением минимальных величин в полную спелость (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние минеральных удобрений на содержание (мг/кг почвы) обменного калия в 0–20 см слое чернозема выщелоченного в течение вегетации льна масличного, среднее за 2008–2010 гг.

Удобрение, кг/га д. в (А)	Фаза развития (В)					$A_s$ , НСП <sub>05</sub> = 9,8
	Всходы	«Ёлочка»	Цветение	Зеленая спелость	Полная спелость	
Контроль	255	251	241	233	229	242
$N_{60}P_{60}K_{20}$	267	261	247	237	230	248
$N_{42}P_{56}K_{34}$	272	264	248	237	233	251
$N_{60}P_{90}K_{20}$	269	257	245	235	230	247
$N_{90}P_{60}K_{20}$	265	255	236	222	217	239
В, НСП <sub>05</sub> = 9,8	266	258	243	233	228	НСП <sub>05</sub> = 18,3
						$S_x = 3,9$

Результаты дисперсионного анализа, приведенные в таблице 5, свидетельствуют о существенном снижении содержания обменного калия в 0–20 см слое почвы в межфазные периоды «елочка» – цветение» и «цветение – зеленая спелость».

Изучаемые в опыте дозы минеральных удобрений оказали незначительное влияние на концентрацию обменного калия в 0–20 см слое чернозема выщелоченного, так как разница с контролем оказалась недостоверной. Удобрения способствовали незначительному увеличению концентрации обменного калия до фазы цветения льна масличного, и разница с контролем в зависимости от дозы туков составляла (мг/кг почвы): всходы – 10–22; «елочка» – 6–13; цветение – 5–7. В среднем за весь период вегетации культуры только доза удобрений  $N_{90}P_{60}K_{20}$  способствовала незначительному снижению содержания обменного калия по сравнению с естественным агрохимическим фоном. Наибольшее содержание калия, во все фазы развития, обеспечивала расчётная

доза удобрений  $N_{42}P_{56}K_{34}$ , что не достоверно выше по отношению к другим фонам питания в опыте.

## 4. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

### 4.1. Динамика линейного роста и накопление биомассы растениями льна масличного

Анализ данных, приведенных в таблице 6, свидетельствует о том, что независимо от фона питания динамика линейного роста растений льна масличного имела единый ход: это равномерное увеличение высоты растений в течение вегетации культуры с достижением максимальных значений в фазу зеленой спелости.

Таблица 6 – Влияние минеральных удобрений на динамику линейного роста (см) растений льна масличного, среднее за 2008–2010 гг.

Удобрение, кг/га д. в. (А)	Фаза развития (В)			А, НСР <sub>05</sub> = 3,2
	«Ёлочка»	Цветение	Зеленая спелость	
Контроль	21,4	48,3	52,7	40,8
$N_{60}P_{60}K_{20}$	23,1	56,0	60,5	46,5
$N_{42}P_{56}K_{34}$	23,9	55,6	60,0	46,5
$N_{60}P_{90}K_{20}$	24,7	56,8	62,4	48,0
$N_{90}P_{60}K_{20}$	27,0	61,9	67,9	52,3
В, НСР <sub>05</sub> = 5,2	24,0	55,7	60,7	НСР <sub>05</sub> = 7,5 S <sub>x</sub> = 3,3

Математическая обработка полученных данных установила, что максимальный рост растений льна масличного наблюдался в межфазный период «елочка» – цветение». Удобрения существенно увеличивали высоту растений на протяжении всей вегетации культуры, и разница по отношению к контролю в зависимости от фона питания составляла: в фазы «елочки» – 1,7–6,6; в фазу цветения – 7,6–13,6 и в фазу зеленой спелости – 7,8–15,2 см. С ростом дозы азота в изучаемых нормах удобрений пропорционально увеличивалась и высота растений, в связи с чем наиболее высокорослые растения в течение всего анализируемого периода вегетации формировались при внесении дозы  $N_{90}P_{60}K_{20}$ . В среднем за три года на данном варианте, в зависимости от фазы развития, высота растений превышала контроль на 21–23 %.

Наиболее интенсивный процесс накопления сухой массы растений льна масличного происходит в межфазный период «елочка» – цветение». Это свя-

зано с периодом максимального потребления элементов питания и наибольшим нарастанием биомассы растений культуры в это время (рис. 1).

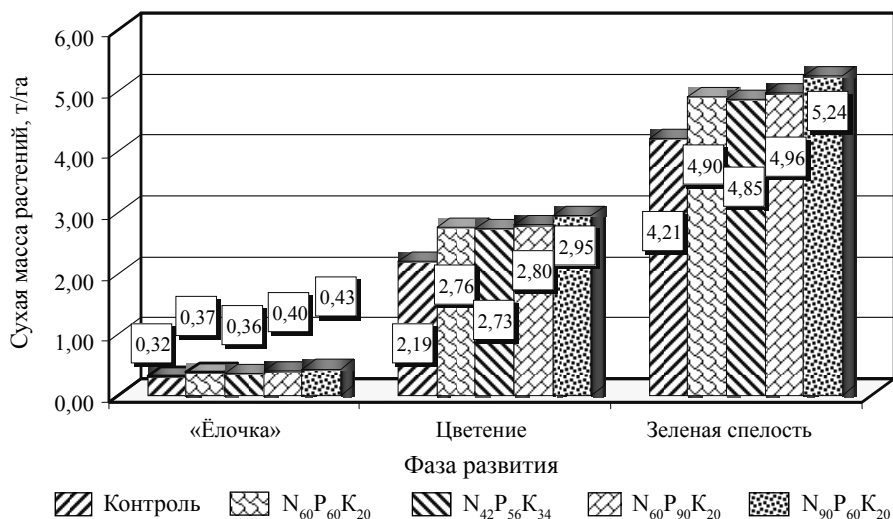


Рисунок 1 – Влияние удобрений на накопление сухой массы растениями льна масличного, т/га, среднее за 2008–2010 гг.

Дисперсионный анализ данных показал, что в среднем за вегетацию все изучаемые в опыте дозы минеральных удобрений существенно увеличивали содержание сухого вещества по отношению к контролю. Разница в накоплении сухого вещества растениями льна масличными между значениями контроля и удобренными вариантами составляла: в фазу «елочки» – 13–34 %, в фазу цветения 25–35 %, в фазу зеленой спелости – 15–24 %.

Во все фазы вегетации культуры в течение трех лет наблюдений максимальное накопление сухой массы обеспечивал вариант с дозой внесения минеральных удобрений N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>20</sub>, который увеличивал анализируемый показатель по сравнению с контролем на 25,5; 34,7 и 24,4 % соответственно в фазы «елочки», цветения и зеленой спелости.

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о довольно высокой и тесной зависимости накопления сухой массы растений от их высоты (коэффициенты парной корреляции для соответствующих фаз развития составили  $r=0,96$ ;  $0,91$  и  $0,86$ ). В фазу цветения указанная зависимость при криволинейном характере имеет большую тесноту связи, и может быть выражена следующим уравнением:  $Y = 2,42 - 0,35 X + 0,0007X^2$ , ( $r = 0,918$ ), где  $Y$  – сухая масса растений, т/га;  $X$  – высота растений в фазу цветения, см;  $r$  – коэффициент парной корреляции.

## 4.2. Динамика содержания основных элементов питания в растениях льна масличного

В наших исследованиях погодные условия, а в равной степени и уровень минерального питания, являлись основными факторами, определяющими содержание основных элементов питания в растениях льна масличного.

**Азот.** Следует отметить, что азот потреблялся растениями масличного льна интенсивно до фазы цветения (рис. 2).

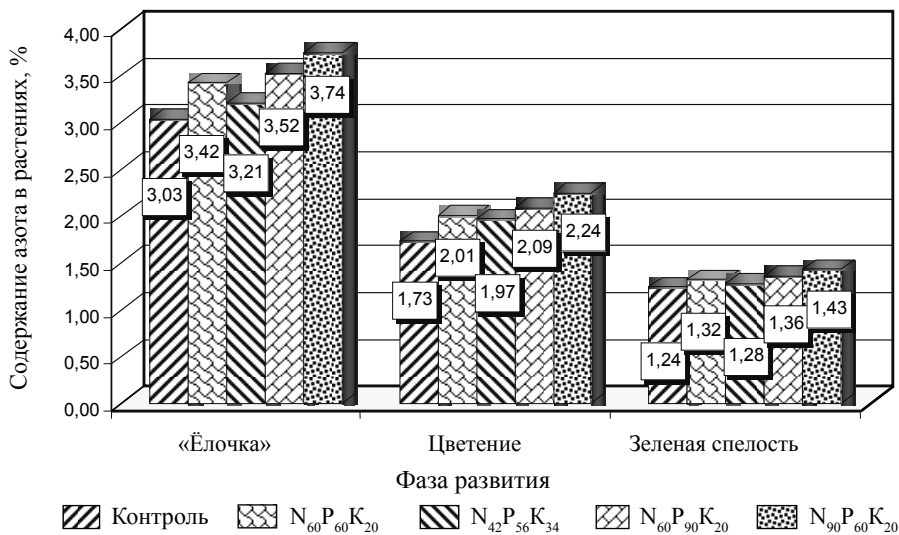


Рисунок 2 – Влияние удобрений на содержание азота в растениях льна масличного, %, среднее за 2008–2010 гг.

В последующие этапы развития культуры происходило перераспределение элемента в образующиеся семена, а его содержание в листьях и стеблях продолжало снижаться, но уже менее интенсивно, чем в фазу цветения. К фазе зеленой спелости значение анализируемого показателя уступало предыдущему сроку учета в 1,2–1,5 раза.

Изучаемые в опыте дозы минеральных удобрений оказывали значительное влияние на поглощение питательных веществ растениями льна масличного. Результаты проведенного дисперсионного анализа позволили установить достоверное снижение концентрации азота в течение всего периода вегетации льна масличного вне зависимости от фона питания. При этом каждая из изучаемых норм удобрений ( $N_{60}P_{60}K_{20}$ ,  $N_{42}P_{56}K_{34}$ ,  $N_{60}P_{90}K_{20}$ ,  $N_{90}P_{60}K_{20}$ ) способствовала существенному увеличению анализируемого показателя, и разница по отношению к естественному агрохимическому фону составляла в фазу

«елочки» – 0,18–0,71 %, в фазу цветения – 0,24–0,51 %, в фазу зеленой спелости – 0,08–0,19 %.

В течение вегетации роль изучаемых удобрений в накоплении растениями общего азота заметно снижается, однако разница между контролем и удобренными вариантами остается существенной вплоть до конца вегетации. В среднем за вегетацию действие рекомендуемой ( $N_{60}P_{60}K_{20}$ ) дозы удобрений было существенно расчетной, что, вероятно, связано с большим накоплением минерального азота в почве на этом варианте, и разница в зависимости от фазы развития колебалась в пределах 0,04–0,21 %.

Метод множественного корреляционно-регрессионного анализа позволил выявить очень тесную связь между содержанием азота в растениях в изучаемые фазы вегетации льна масличного и урожайностью культуры ( $r=0,978$ ). Общая зависимость выражена в виде уравнения  $Y = -0,91 - 0,78X_1 + 1,99X_2 + 1,21X_3$ , где  $Y$  – урожайность льна масличного, ц/га;  $X_{1,2,3}$  – содержание азота в растениях льна масличного соответственно в фазы «елочки», цветения и зеленой спелости, %.

**Фосфор.** Как на контроле, так и на удобренных вариантах, динамика содержания фосфора в растениях в течение вегетации льна масличного имела единый ход: постепенное снижение с достижением минимальных значений к фазе полной спелости семян (рис. 3).

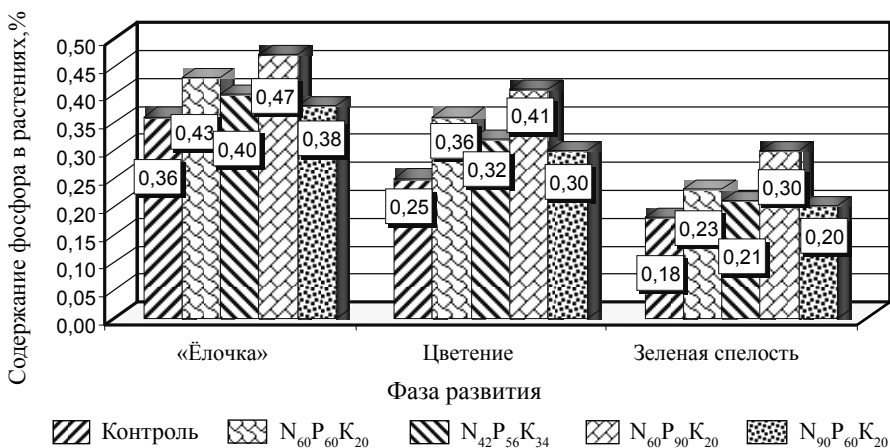


Рисунок 3 – Влияние удобрений на содержание фосфора в растениях льна масличного, %, среднее за 2008–2010 гг.

Все изучаемые в опыте дозы минеральных удобрений оказывали существенное влияние на концентрацию фосфора лишь до фазы цветения, в остальные же сроки наблюдений действие трех доз удобрений ( $N_{42}P_{56}K_{34}$ ,



$N_{90}P_{60}K_{20}$  и  $N_{60}P_{60}K_{20}$ ) было в пределах ошибки опыта. Максимальное содержание фосфора в растениях на протяжении всей вегетации льна обеспечивало внесение нормы  $N_{90}P_{60}K_{20}$ , обеспечивающей наибольшее содержание подвижных фосфатов в пахотном слое чернозема выщелоченного, где концентрация элемента в растениях достоверно превышала не только контроль (в 1,5 раза), но и рекомендуемую норму (в 1,2 раза).

Проведение множественно-регрессионного анализа дало возможность установить заметную связь между содержанием фосфора в растениях льна масличного в анализируемые фазы развития и урожайностью культуры (коэффициент множественной корреляции составил  $r=0,81$ ). При этом более заметная и существенная связь между изучаемыми признаками отмечается в фазу «елочки». Установленная криволинейная регрессия представлена в виде следующего уравнения:  $Y = 4,75 + 2,96 \ln(X)$ , ( $r = 0,793$ ), где  $Y$  – урожайность т/га;  $X$  – содержание фосфора в растениях в фазу «елочки», %;  $r$  – коэффициент парной корреляции.

**Калий.** Для культуры характерно наличие двух периодов наибольшего потребления калия: между бутонизацией и цветением, а также во время образования семян. Снижение концентрации калия к концу вегетации в большей степени объясняется потерей листовых пластинок, поскольку этот элемент в основном накапливается в вегетативной части растений, нежели в репродуктивных органах (рис. 4).

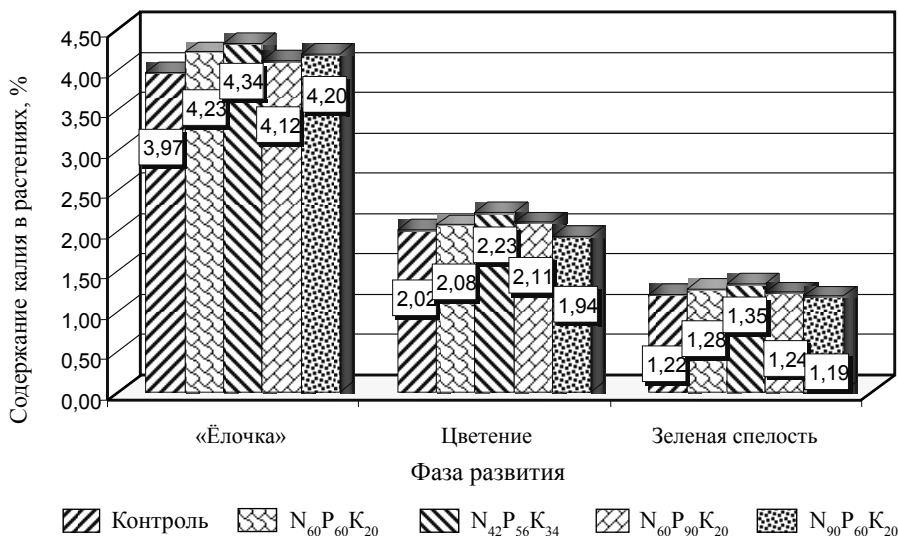


Рисунок 4 – Влияние удобрений на содержание калия в растениях льна масличного, %, среднее за 2008–2010 гг.

В среднем за вегетацию все изучаемые в опыте дозы минеральных удобрений оказывали положительное влияние на содержание калия в растениях, увеличивая его концентрацию по сравнению с вариантом без применения удобрений. Варианты с внесением  $N_{60}P_{60}K_{20}$  и  $N_{42}P_{56}K_{34}$  способствовали получению достоверной разницы при увеличении концентрации калия в удобренных растениях. Существенная разница содержания калия в растениях льна масличного между контролем и удобренными вариантами наблюдалась лишь в фазу «елочки», когда значения анализируемого показателя на удобренных вариантах были достоверно выше контроля на 0,15–0,23 %.

Наибольшим содержанием калия во все сроки отбора проб отличались растения, выращенные на варианте с применением расчетной нормы удобрений, где концентрация элемента была выше показателя на контрольном варианте на 0,37; 0,21 и 0,13 % соответственно в фазу «елочки», цветения и зеленой спелости, что статистически достоверно.

### 4.3. Структура урожая льна масличного

Множественный корреляционно-регрессионный анализ позволил установить тесную линейную зависимость между урожайностью льна масличного и значениями основных элементов структуры урожая, которая выражена в виде следующего уравнения:  $Y = 0,55 + 0,01X_1 + 0,035X_2 + 0,116X_3 + 0,074X_4$ ; ( $R = 0,99$ ), где  $Y$  – урожайность льна масличного, т/га;  $X_1$  – высота растений при уборке, см;  $X_2$  – количество коробочек на одном растении, шт.;  $X_3$  – количество семян в коробочке, шт.;  $X_4$  – масса 1000 семян (табл. 7).

Таблица 7 – Влияние минеральных удобрений на формирование структуры урожая льна масличного, среднее за 2008–2010 гг.

Дозы удобрений	Высота растений, см	Густота растений на 1 м <sup>2</sup> , шт.	Масса семян с 1 растения, г	Количество коробочек	Количество семян в коробочке, шт	Масса 1000 семян, г
Контроль	54	291	0,61	13,3	6,8	6,4
$N_{60}P_{60}K_{20}$	62	295	0,73	14,1	7,5	6,8
$N_{42}P_{56}K_{34}$	61	298	0,79	14,3	7,6	7,1
$N_{60}P_{90}K_{20}$	64	298	0,79	14,8	7,5	6,6
$N_{90}P_{60}K_{20}$	70	299	0,87	14,9	7,7	7,2
НСП <sub>05</sub>	5,8	9	0,11	0,6	0,5	0,3

Изучаемые в опыте дозы минеральных удобрений оказали положительное влияние и на массу семян с 1-го растения, количество коробочек, количество семян в коробочке. По сравнению с параметрами контроля получено достоверное увеличение показателей структуры урожая льна масличного и разница соответственно составляла: 0,11–0,26 г; 0,8–1,6 ед., 0,7–0,9 шт. Максимальные

параметры анализируемых показателей были сформированы на варианте с внесением  $N_{90}P_{60}K_{20}$ . Наиболее выполненные семена образовывалась на вариантах с применением доз минеральных удобрений  $N_{90}P_{60}K_{20}$  и  $N_{42}P_{56}K_{34}$  – масса 1000 семян составила соответственно 7,2 и 7,1 г.

#### 4.4. Урожайность льна масличного

Результаты исследований, приведенные в таблице 8, указывают на то, что урожайность льна масличного определялась как уровнем минерального питания, так и складывающимися во время вегетации культуры погодными условиями, которые существенно варьировали в различные годы наблюдений. На естественном агрохимическом фоне максимальная продуктивность льна масличного отмечалась в более благоприятный по увлажнению 2008 год, превышая аналогичные показатели в засушливые 2009 и 2010 годы на 1,53 и 0,91 т/га соответственно.

Все изучаемые в опыте дозы удобрений способствовали существенному увеличению урожайности маслосемян льна. Наименьший уровень отзывчивости культуры на улучшение минерального питания был характерен для самого засушливого 2010 года, где разница между удобренными вариантами и контролем составляла 0,25–0,57 т/га в зависимости от нормы удобрений, тогда как в более благоприятном по увлажнению 2008 году и менее экстремальном по температурному режиму 2009 году – 0,33–0,60 и 0,44–0,90 т/га соответственно.

Таблица 8 – Влияние минеральных удобрений на урожайность льна масличного

Вариант	Урожайность, т/га				Прибавка	
	2008	2009	2010	Среднее	т/га	%
Контроль	2,45	0,92	1,54	1,64	–	–
$N_{60}P_{60}K_{20}$	2,83	1,36	1,79	1,99	0,35	26,5
$N_{42}P_{56}K_{34}$	2,98	1,48	2,11	2,19	0,55	39,8
$N_{60}P_{90}K_{20}$	2,78	1,65	2,02	2,15	0,51	41,3
$N_{90}P_{60}K_{20}$	3,05	1,82	1,92	2,26	0,62	54,0
НСР, ц/га	0,32	0,15	0,11	0,14	–	–
Sx, %	4,7	4,1	3,6	4,2	–	–

В среднем за три года наблюдений максимальный уровень урожайности культуры обеспечивал вариант с дозой внесения минеральных удобрений  $N_{90}P_{60}K_{20}$  – 2,26 т/га, что выше контроля на 54 %. В неблагоприятные по увлажнению 2009 и 2010 годы применение рекомендуемой нормы удобрений способствовало получению минимальной урожайности среди всех удобренных вариантов, которая превышала контроль на 32,3 и 13,9 % соот-

ветственно. Корректировка и ежегодное уточнение данной нормы удобрений с учетом потребностей растений и почвенного плодородия, результатом которых является расчетная норма удобрений, приводили к дополнительному увеличению урожайности культуры на 5,0–15,2 %, при максимальной прибавке в 2010 году.

#### 4.5. Влияние минеральных удобрений на качество семян льна масличного

Изучаемые дозы минеральных удобрений оказывали неоднозначное влияние на масличность семян льна. В среднем за три года наблюдений внесение доз минеральных удобрений  $N_{60}P_{60}K_{20}$ ,  $N_{42}P_{56}K_{34}$ ,  $N_{60}P_{90}K_{20}$  способствовало увеличению по сравнению с контролем масличности семян на 0,3–2,5 %. Максимальное содержание масла обеспечивала норма  $N_{60}P_{90}K_{20}$ , что выше показателей изучаемых в опыте вариантов на 1,2–3,7 % (табл. 9). Применение дозы удобрений  $N_{90}P_{60}K_{20}$  приводило к существенному снижению анализируемого показателя, и разница по отношению к контролю составляла в среднем за три года 1,2 %.

Применение удобрений способствовало увеличению сбора масла с единицы площади, и разница с контролем составляла 0,16–0,28 т/га. Несмотря на более низкую урожайность, норма  $N_{90}P_{60}K_{20}$  за счет формирования семян с наибольшей масличностью способствовала получению максимального сбора масла с единицы площади – 0,98 т/га. Следует отметить, что три варианта с применением доз минеральных удобрений  $N_{42}P_{56}K_{34}$ ,  $N_{60}P_{90}K_{20}$  и  $N_{90}P_{60}K_{20}$  обеспечивали примерно одинаковый сбор масла с единицы площади – 0,97, 0,98 и 0,94 т/га.

Таблица 9 – Влияние минеральных удобрений на качественные показатели семян льна масличного, среднее за 2008–2010 гг.

Удобрения, кг/га д. в.	Показатель				
	Содержание		Йодное число	Сбор	
	масла, %	белка, %		масла, т/га	белка, т/га
Контроль	42,7	21,8	175	0,70	0,35
$N_{60}P_{60}K_{20}$	43,0	22,5	177	0,86	0,45
$N_{42}P_{56}K_{34}$	44,0	21,3	180	0,97	0,46
$N_{60}P_{90}K_{20}$	45,2	22,1	178	0,98	0,47
$N_{90}P_{60}K_{20}$	41,5	24,8	180	0,94	0,56

Все изучаемые в опыте дозы удобрений, за исключением расчетной, в среднем за три года наблюдений способствовали увеличению содержанию белка в семенах льна на 0,3–3,0 % по сравнению с контролем. Применение удобрений оказало положительное влияние на сбор белка с единицы площади, и разница с контролем составила 0,1–0,21 т/га. Максимальный сбор белка с единицы площади обеспечивало внесение  $N_{90}P_{60}K_{20}$  – 0,56 т/га.

Под действием всех изучаемых доз минеральных удобрений происходило увеличение йодного числа на 2–5 ед. Увеличение дозы фосфора в 1,5 раза по сравнению с рекомендованной нормой приводило к дальнейшему росту йодного числа, и разница по сравнению с контролем составляла 3 ед., что статистически достоверно. При этом наибольшее содержание ненасыщенных кислот в масле образовывалось в семенах, полученных на вариантах с применением расчетной  $N_{42}P_{56}K_{34}$  и  $N_{90}P_{60}K_{20}$ , где в течение всего периода исследований отмечалось увеличение йодного числа на 5 ед. по сравнению с вариантом без применения удобрений.

## 5. БАЛАНС И КОЭФФИЦИЕНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ЛЬНОМ МАСЛИЧНЫМ ИЗ ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ

Математическим выражением круговорота питательных веществ в посевах культуры является баланс элементов питания, определяемый как разность между приходом в почву элементов питания с удобрениями и их расходом урожаем. На естественном агрохимическом фоне дефицит азота, фосфора и калия составлял соответственно 66,7; 22,8 и 34,5 кг/га. Применение изучаемых в опыте норм удобрений в определенной степени компенсировало более высокий вынос элементов питания из почвы на удобренных вариантах, однако по азоту и калию баланс оставался отрицательным. При этом наибольшей компенсации способствовало применение норм удобрений  $N_{60}P_{90}K_{20}$  и  $N_{90}P_{60}K_{20}$  (табл. 10).

Таблица 10 – Коэффициенты выноса питательных элементов из почвы и удобрений растениями льна масличного, среднее за 2008–2010 гг.

Вариант	КИП, %			КИУ, %		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	23,3	36,1	5,2	0,0	0,0	0,0
$N_{60}P_{60}K_{20}$	29,7	47,1	6,5	30,5	11,5	43,3
$N_{42}P_{56}K_{34}$	30,3	51,0	7,4	47,6	16,7	44,4
$N_{60}P_{90}K_{20}$	31,7	54,9	6,9	40,1	13,1	58,2
$N_{90}P_{60}K_{20}$	36,9	52,3	7,1	43,3	16,9	63,0

При этом с ростом доз азота и фосфора во вносимых нормах удобрений происходило увеличение КИП соответствующих элементов питания, а максимальное их потребление из почвы отмечалось на вариантах с применением  $N_{90}P_{60}K_{20}$  и  $N_{60}P_{90}K_{20}$ . Коэффициент использования фосфора незначительно варьировал на различных фонах минерального питания.

Наименьшее значение КИУ калия отмечалось на варианте с применением рекомендованной нормы удобрений, при этом на расчетной оно было несуще-

ственно выше. Увеличение доз фосфора и азота по сравнению с рекомендуемой нормой в 1,5 раза приводило к заметному увеличению коэффициента использования калия из удобрений. На вариантах с применением норм  $N_{90}P_{60}K_{20}$  и  $N_{60}P_{90}K_{20}$  использование калия из удобрений увеличивалось на 14,9 и 19,37 отн. % соответственно.

Установлены значения коэффициентов использования питательных веществ из удобрений и почвы в условиях неустойчивого увлажнения Ставропольской возвышенности. Для расчета норм удобрений под планируемую урожайность льна масличного средние коэффициенты использования азота, фосфора и калия из почвы составляют 30,4; 48,3 и 6,6 %, а из удобрений – 40,4; 14,5 и 52,2 % соответственно.

## **6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА МАСЛОСЕМЯН ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Расчет экономической эффективности производства льна масличного показал, что изучаемые дозы минеральных удобрений оказали неадекватное влияние на основные показатели, представленные в таблице 11. Так, по сравнению с контролем на вариантах с применением  $N_{60}P_{60}K_{20}$  (рекомендованная) и  $N_{60}P_{90}K_{20}$  соответственно возростили: урожайность с 1 га – на 21 и 31 %, денежная выручка с 1 га – на 4200 и 6120 руб., затраты труда на 1 га – на 12 и 11 %, прибыль – на 1677–2918 руб.

Таблица 11 – Экономическая эффективность производства семян льна масличного в зависимости от минеральных удобрений, 2008–2010 гг.

Показатели	Удобрения				
	контроль	$N_{60}P_{60}K_{20}$	$N_{42}P_{56}K_{34}$	$N_{60}P_{90}K_{20}$	$N_{90}P_{60}K_{20}$
Урожайность, т/га	1,64	1,99	2,19	2,15	2,26
Денежная выручка с 1 га, руб.	19680	23880	26280	25800	27120
Затраты труда на 1 га, ч	10,8	12,1	11,8	12	12,6
Затраты труда на 1 т, ч	6,59	6,08	5,39	5,58	5,57
Производственные затраты на 1 га, руб.	9250	11773	11534	12452	12189
Себестоимость 1 т, руб.	5640	5916	5267	5792	53933
Прибыль, руб.	10430	12107	14746	13348	14931
Уровень рентабельности, %	113	103	128	107	122

Однако из-за значительного увеличения на анализируемых вариантах производственных затрат на 1 га – на 2523 и 3202 руб. по сравнению с контролем увеличивалась себестоимость 1 т семян льна масличного – на 276 и 152 руб., а уровень рентабельности снижался на 10 и 6 %. В то же время расчетная доза минеральных удобрений, по методике В. В. Агеева ( $N_{42}P_{56}K_{34}$  и  $N_{90}P_{60}K_{20}$ )

оказала положительное влияние на все показатели экономической эффективности и по сравнению с контролем удобрения соответственно увеличивали: урожайность льна масличного на 34 и 38 %; денежную выручку с 1 га на 6600 и 7440 руб., затраты труда на 1 га – на 9 и 17 %; производственные затраты – на 2284 и 2939 руб.; прибыль – на 4316 и 4501 руб. Благодаря полученной прибавке урожая удобрения по сравнению с естественным агрохимическим фоном снижали затраты труда на 1 т – на 18 и 15 %, а уровень рентабельности превосходил контроль на 15 и 9 %.

## ВЫВОДЫ

1. Трёхлетние исследования по возделыванию льна масличного на чернозёме выщелоченном показали, что снижение запасов продуктивной влаги в период вегетации льна масличного имело единый ход для всех вариантов опыта, а существенное влияние на урожайность культуры оказали её запасы в межфазные периоды «елочка» – цветение» и «цветение – зеленая спелость». Минеральные удобрения, не изменяя направленности динамики запасов продуктивной влаги, незначительно снижали ее запасы в метровом слое, и разница с контролем в течение вегетации культуры составляла 1,2–9,4 мм. За счёт увеличения урожайности дозы минеральных удобрений снижали на 23–36 % коэффициент водопотребления культуры относительно контроля.

2. Удобрения способствовали существенному подкислению реакции почвенного раствора по сравнению с контролем. В среднем за три года исследований в зависимости от дозы удобрений снижение значение pH относительно контроля в течение вегетации льна масличного составляло: в фазу всходов – 0,07–0,30; «елочки» – 0,08–0,27; цветения – 0,15–0,30; зеленой спелости – 0,10–0,18; полной спелости – 0,09–0,23. Существенное подкисление почвенного раствора отмечается в межфазный период «елочка» – цветение», совпадающий с периодом максимального потребления элементов льном масличным.

3. Содержание нитратного азота в 0–20 см слое чернозёма выщелоченного на протяжении всей вегетации льна масличного снижалось с достижением минимальных значений к фазе зеленой спелости. Наиболее резкое снижение концентрации нитратов (на 11,2–21 мг/кг почвы) происходило в межфазный период «елочка» – цветение», что совпадает с периодом максимального потребления азота растениям льна масличного. Дозы минеральных удобрений оказывали положительное влияние на содержание нитратов, и разница по отношению к варианту без применения удобрений составляла (мг/кг почвы): в фазу всходов – 4,5–20,7; фазу «елочки» – 5,2–16,9; фазу цветения – 3,6–7,0; в фазу зеленой спелости – 1,0–3,9; фазу полной спелости – 1,1–4,0.

4. Динамика подвижного фосфора на всех фонах питания имела одинаковый ход – это неуклонное снижение в течение всей вегетации льна масличного с достижением минимальных величин в фазу полной спелости. Существенное снижение содержания подвижного фосфора отмечается в межфазные периоды «елочка» – цветение» и «цветение» – зеленая спелость». Применение

минеральных удобрений способствовало достоверному увеличению содержания элемента в 0–20 см слое чернозема выщелоченного по отношению к естественному агрохимическому фону, особенно в первой половине вегетации культуры, когда разница с контролем составляла: в фазу всходов – 5,2–10,1; фазу «елочки» – 6,7–10,9; фазу цветения – 1,6–7,1 мг/кг почвы. Во все фазы развития льна масличного максимальное содержание подвижных форм фосфора (23,5–36,3 мг/кг) отмечалось на варианте с применением дозы минеральных удобрений  $N_{60}P_{90}K_{20}$ .

5. Установлено существенное снижение содержания обменного калия в 0–20 см слое почвы в межфазные периоды льна масличного «елочка» – цветение» и «цветение – зеленая спелость». Удобрения оказали незначительное влияние на концентрацию обменного калия в 0–20 см слое чернозема выщелоченного – незначительное увеличение содержания обменного калия отмечалось до фазы цветения льна масличного, и разница с контролем, в зависимости от фазы развития, составляла 5–22 мг/кг почвы.

6. Максимальный рост и накопление сухого вещества растений льна масличного наблюдались в межфазный период «елочка» – цветение». Все изучаемые в опыте дозы минеральных удобрений существенно увеличивали высоту и сухую массу растений на протяжении всей вегетации культуры, и разница по отношению к контролю составляла: высота растений – в фазу «елочки» – 1,7–6,6; в фазу цветения – 7,6–13,6 и в фазу зеленой спелости – 7,8–15,2 см, а для сухой массы разница составляла – в фазу «елочки» – 13–34 %, в фазу цветения 25–35 %, в фазу зеленой спелости – 15–24 %.

7. Динамика элементов питания в растениях имеет единый ход: это неуклонное снижение их концентрации в течение вегетации льна масличного с достижением минимальных величин к концу вегетации. Удобрения способствовали существенному увеличению концентрации азота и фосфора в растениях льна масличного в межфазный период «елочка» – цветение», а калия – только в фазу «елочка». Так, на удобренных вариантах в этот период по сравнению с контролем содержание азота и фосфора увеличивается на 0,18–0,71 и 0,05–0,16 % соответственно, а калия – на 0,15–0,37 %. Максимальное содержание азота в растениях льна масличного обеспечивает внесение  $N_{90}P_{60}K_{20}$ , фосфора –  $N_{60}P_{90}K_{20}$ , калия –  $N_{42}P_{56}K_{34}$ .

8. Корреляционно-регрессионный анализ позволил установить тесную линейную зависимость между урожайностью льна масличного и значениями основных элементов структуры урожая, которая выражена в виде следующего уравнения:  $Y = 0,55 + 0,01X_1 + 0,035X_2 + 0,116X_3 + 0,074 X_4$ ; ( $R = 0,99$ ), где  $Y$  – урожайность льна масличного, т/га;  $X_1$  – высота растений при уборке, см;  $X_2$  – количество коробочек на одном растении, шт.;  $X_3$  – количество семян в коробочке, шт.;  $X_4$  – масса 1000 семян. Удобрения достоверно увеличивали по сравнению с контролем: высоту растений – на 13–30 %, количество коробочек и семян в ней на 6–12 % и 10–13 %, массу 1000 семян – на 0,4–0,6 г соответственно. Максимальные показатели элементов структуры урожая формировались на варианте с применением нормы  $N_{90}P_{60}K_{20}$ .



9. Все дозы минеральных удобрений существенно увеличивали урожайность семян льна масличного и разница с контролем составляла: в 2008 г. – 0,33–0,60, в 2009 г. – 0,44–0,90, в 2010 г. – 0,25–0,57 т/га. В среднем за три года применение удобрений увеличивало урожайность семян льна масличного по сравнению с контролем на 26,5–54 %, а максимальный уровень продуктивности культуры сформировался на варианте с внесением  $N_{90}P_{60}K_{20}$  – 2,26 т/га;

10. Формирование качественных показателей семян льна масличного определялось погодными условиями и режимом минерального питания растений. Применение доз минеральных удобрений  $N_{60}P_{60}K_{20}$ ,  $N_{42}P_{56}K_{34}$ ,  $N_{60}P_{90}K_{20}$  способствовало увеличению по сравнению с контролем масличности семян на 0,3–2,5 %, а доза  $N_{90}P_{60}K_{20}$  снижала данный показатель на 1,2 %. Удобрения увеличивали по сравнению с контролем сбор масла на 0,16–0,28 т/га, а дозы удобрений  $N_{42}P_{56}K_{34}$ ,  $N_{60}P_{90}K_{20}$  и  $N_{90}P_{60}K_{20}$  обеспечивали одинаковый сбор масла – 0,97, 0,98 и 0,94 т/га. Удобрения, по сравнению с контролем, за исключением  $N_{42}P_{56}K_{34}$ , увеличивали содержание белка в семенах льна на 0,3–3,0 %, а максимальный сбор белка с единицы площади обеспечивало внесение  $N_{90}P_{60}K_{20}$  – 0,56 т/га. Все дозы минеральных удобрений повышали йодное число на 2–5 ед.

11. При возделывании льна масличного на черноземе выщелоченном в условиях неустойчивого увлажнения Ставропольской возвышенности установлены значения коэффициентов использования питательных веществ из удобрений и почвы. Для расчета норм удобрений под планируемую урожайность льна масличного средние коэффициенты использования азота, фосфора и калия из почвы составляют 30,4; 48,3 и 6,6 %, а из удобрений – 40,4; 14,5 и 52,2 % соответственно.

12. С экономической точки зрения наиболее эффективными оказались варианты с внесением доз минеральных удобрений  $N_{42}P_{56}K_{34}$  (рассчитана по методике В. В. Агеева) и  $N_{90}P_{60}K_{20}$ , которые увеличивали по сравнению с контролем: урожайность льна масличного на 34 и 38 %; денежную выручку с 1 га на 6600 и 7440 руб., производственные затраты – на 2284 и 2939 руб.; прибыль – на 4316 и 4501 руб.; снижали затраты труда на 1 т – на 18 и 15 %, а уровень рентабельности превосходил контроль на 15 и 9 %. Варианты с применением доз удобрений  $N_{60}P_{60}K_{20}$  (рекомендованная) и  $N_{60}P_{90}K_{20}$  уступали аналогичным показателям не только вышеназванных вариантов, но и по сравнению с контролем увеличивали себестоимость 1 т семян льна масличного – на 276 и 152 руб., а уровень рентабельности снижался на 10 и 6 %.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. При выращивании льна масличного на черноземе выщелоченном производству рекомендуется расчет норм удобрений под планируемую урожайность льна масличного (2,0 т/га) проводить по методике кафедры агрохимии и физиологии растений СтГАУ. Для зоны неустойчивого увлажнения оптималь-

ными дозами минеральных удобрений являются ( $N_{42}P_{56}K_{34}$  и  $N_{90}P_{60}K_{20}$ ), как обеспечивающие максимальную агротехническую и экономическую эффективность производства культуры.

## **ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:**

### **Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:**

1. Кочкин, А. С. Оптимизация минерального питания льна масличного на черноземе выщелоченном / А. С. Кочкин, А. Н. Есаулко // Плодородие. – 2010. – № 2. – С. 34–35.

### **Статьи в других изданиях:**

2. Кочкин, А. С. Программирование продуктивности льна масличного на основе оптимизации систем удобрений / А. Н. Есаулко, А. С. Кочкин, А. В. Воскобойников // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Южного федерального округа : материалы 73-й научно-практической конференции. – Ставрополь : издательско-полиграфический центр «Параграф», 2009. – С. 48–52.

3. Кочкин, А. С. Влияние минеральных удобрений на агрохимические показатели чернозема выщелоченного и продуктивность льна масличного в умеренно влажной зоне Ставропольского края / А. С. Кочкин, А. Н. Есаулко // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Северо-Кавказского федерального округа : материалы 74-й научно-практической конференции. – Ставрополь : издательско-полиграфический центр «Параграф», 2010. – С. 52–55.

4. Кочкин, А. С. Влияние погодных условий на эффективность применения минеральных удобрений в посевах льна масличного в умеренно влажной зоне Ставропольского края / А. С. Кочкин, А. Н. Есаулко // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Северо-Кавказского федерального округа : материалы 74-й научно-практической конференции. – Ставрополь : издательско-полиграфический центр «Параграф», 2010. – С. 55–58.

Подписано в печать 26.11.2010. Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ .  
Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0.  
Тираж 100. Заказ № 503.

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса СтГАУ «АГРУС»,  
г. Ставрополь, ул. Мира, 302.