

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
(сельскохозяйственные науки)

doi:10.18286/1816-4501-2025-3-78-85

УДК 633.3:631.86

**Оптимизация фосфорно-калийного питания клевера лугового
(*Trifolium pratense* L.) в условиях Нечерноземья: агрономическая
и экономическая эффективность**

А. Ю. Гаврилова^{1✉}, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Агротехнологии»

А. М. Конова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Селекционные технологии»

Н. Е. Самсонова², доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

170041, г. Тверь, Комсомольский проспект, д. 17/56

✉augavrilova@gmail.com

²Смоленская государственная сельскохозяйственная академия

214000, г. Смоленск, ул. Большая Советская, д. 10/2

Резюме. Для определения оптимальных доз фосфорно-калийных удобрений при выращивании клевера лугового (сорт Починковец) в 2022-2024 гг. было проведено полевое исследование на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Смоленской области (рН = 5,4) с низким содержанием гумуса (2,0 %), повышенным – фосфора (142...148 мг/кг) и средним – калия (98...105 мг/кг). Изучали влияние удобрений (P₁₆K₁₆, P₃₂K₃₂, P₄₈K₄₈, P₈₀K₃₂, P₃₂K₈₀) на урожайность, содержание в сене сырого протеина, фосфора и калия. Максимальная урожайность достигнута при дозе P₄₈K₄₈ в 2022 г. (ГТК = 1,55) и в 2024 г. (ГТК = 1,80) – 20,0 и 12,5 т/га сена соответственно. В засушливом 2023 г. наилучшие показатели (8,3 т/га) наблюдали в варианте P₈₀K₃₂. Максимальное содержание сырого протеина (13,0...14,0 %) отмечено в вариантах с повышенной дозой фосфора и его сочетанием с калием (P₄₈, P₄₈K₄₈ и P₈₀K₃₂), а сбор его урожая был наибольшим в вариантах P₄₈ и P₄₈K₄₈ (18,5...22,3 ц/га в 2022 г. и 12,1...14,8 ц/га в 2024 г.). Содержание фосфора в сене варьировалось от 0,46 до 0,50 % в контрольном варианте до 0,49...0,51 в вариантах с удобрением, что соответствовало зоотехническим требованиям. Несмотря на изменчивость погоды и варианты удобрений, концентрация фосфора и калия в сене клевера оставалась стабильной благодаря генетически закрепленным механизмам регуляции химического состава растений. Это позволяет предсказывать качество корма даже в стрессовых условиях. Оптимальным является соотношение P:K=1:1 (P₄₈K₄₈). В засушливые годы рекомендованы повышенные дозы фосфора (до 80 кг/га). По совокупности показателей агрономической и экономической эффективности лучшим следует признать вариант P₄₈K₄₈.

Ключевые слова: клевер луговой, фосфорно-калийные удобрения, оптимизация питания.

Для цитирования: Гаврилова А. Ю., Конова А. М., Самсонова Н. Е. Оптимизация фосфорно-калийного питания клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в условиях Нечерноземья: агрономическая и экономическая эффективность // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №3 (71). С. 78-85. doi:10.18286/1816-4501-2025-3-78-85

**Improvement of phosphorus-potassium nutrition of red clover
(*Trifolium pratense* L.) in the Non-black soil region: agronomic
and economic efficiency**

A. Yu. Gavrilova^{1✉}, **A. M. Konova**¹, **N. E. Samsonova**²

¹Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Bast Crops"

170041, Tver, Komsomolsky Ave, Bldg. 17/56

✉augavrilova@gmail.com

²Smolensk State Agricultural Academy

214000, St., Smolensk, Bolshaya Sovetskaya 10/2

Abstract. To determine the appropriate doses of phosphorus-potassium fertilizers for cultivation of red clover (variety Pochinkovets) in 2022-2024, a field study was conducted on sod-podzolic medium loamy soil in the Smolensk region (pH = 5.4) with a low humus content (2.0%), increased phosphorus (142-148 mg/kg), and average potassium (98-105 mg/kg). The effect of fertilizers ($P_{16}K_{16}$, $P_{32}K_{32}$, $P_{48}K_{48}$, $P_{80}K_{32}$, $P_{32}K_{80}$) on yield, crude protein content, phosphorus, and potassium in hay was studied. The maximum yield was achieved with the $P_{48}K_{48}$ dose in 2022 (HTC = 1.55) and 2024 (HTC = 1.80) – 20.0 and 12.5 t/ha of hay, respectively. In the dry 2023, the best indicators (8.3 t/ha) were observed in the $P_{80}K_{32}$ variant. The maximum crude protein content (13.0–14.0%) was noted in the variants with a higher phosphorus dose and its combination with potassium (P_{48} , $P_{48}K_{48}$ and $P_{80}K_{32}$), and its harvest was highest in the P_{48} and $P_{48}K_{48}$ variants (18.5-22.3 c/ha in 2022 and 12.1-14.8 c/ha in 2024). Phosphorus content in hay varied from 0.46 to 0.50% in the control variant and 0.49-0.51% in the fertilized variants, meeting zootechnical requirements. Despite weather variability and fertilizer variations, the phosphorus and potassium concentrations in clover hay remained stable due to genetically determined mechanisms for regulating plant chemistry. This allows for predicting forage quality even under stressful conditions. The optimal ratio is P:K = 1:1 ($P_{48}K_{48}$). In dry years, higher phosphorus doses (up to 80 kg/ha) are recommended. Based on combined agronomic and economic performance, the $P_{48}K_{48}$ variant is considered the best.

Keywords: red clover, phosphorus-potassium fertilizers, nutrition improvement.

For citation: Gavrilova A. Yu., Konova A. M., Samsonova N. E. Improvement of phosphorus-potassium nutrition of red clover (*Trifolium pratense* L.) in the Non-black soil region: agronomic and economic efficiency // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;3(71): 78-85 doi:10.18286/1816-4501-2025-3-78-85

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема №FGSS-2024-0004)

Введение

Клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) является многолетней кормовой культурой, играющей стратегическую роль в аграрном секторе Нечерноземной зоны России. Его возделывание традиционно рассматривается как один из эффективных способов поддержания почвенного плодородия, обеспечения сельскохозяйственных животных высококачественными кормами и повышения экономической рентабельности использования пахотных угодий [1].

Клевер луговой формирует высокорослый, интенсивно отрастающий травостой, дающий не менее двух укосов с общей урожайностью в зависимости от фона минерального питания 9...12 т/га сухой массы [2].

Уникальная способность клевера к симбиотической фиксации атмосферного азота, которая позволяет ему удовлетворять до 2/3 своих потребностей в этом элементе, делает его незаменимым компонентом севооборотов, способствующим снижению зависимости от минеральных азотных удобрений и повышению плодородия почв [3].

Однако реализация его продуктивного потенциала в полной мере возможна лишь при соблюдении агротехнических требований, включая оптимизацию параметров минерального питания.

Биологические особенности культуры определяют ее специфические требования к условиям выращивания. Клевер считается влаголюбивой культурой, однако чрезмерное увлажнение негативно сказывается на развитии корневой системы и симбиотических клубеньков. Оптимальный диапазон кислотности почвы соответствует pH_{KCl} 5,5...6,5, что обуславливает необходимость проведения известкования кислых почв. Клевер требователен к содержанию в почве фосфора, кальция, калия, магния и микроэлементов (бор, медь, молибден, кобальт),

которые участвуют в процессах азотфиксации и формирования урожая.

В расчете на 1 т сена в Нечерноземной зоне клевер выносит в среднем 5,6 кг фосфора, 15 кг калия, 42 кг кальция, 19 кг магния [4]. Важно отметить, что корневая система клевера способна трансформировать труднорастворимые соединения фосфора и кальция в усвояемые формы [5, 6] и запасать в почве азот (до 100...150 кг/га), что усиливает его роль в повышении продуктивности почв.

С точки зрения питательной ценности клевер превосходит многие злаковые культуры: в зеленой массе содержится до 3 % белка, 10 % углеводов, 6 % клетчатки и 3 % зольных элементов. По данным Всероссийского научно-исследовательского института кормов 1 кг клевера эквивалентен 0,52 кормовой единицы, что подчеркивает его значимость в рационах сельскохозяйственных животных. При этом затраты на возделывание 1 га клевера в 1,5...2 раза ниже, чем для злаковых трав, а выход кормовых единиц и сырого протеина, напротив, на 40...80 % выше. Это делает культуру особенно привлекательной для внедрения в условиях ограниченных ресурсов.

Однако эффективность выращивания клевера напрямую зависит от грамотного применения удобрений. Клевер высевают преимущественно под покров яровых или озимых зерновых культур, однолетних трав, а также выращивают беспокровно. При покровном выращивании клевера основное фосфорно-калийное удобрение целесообразно вносить под покровную культуру в повышенных дозах, а азотное удобрение – в дозе, рассчитанной на использование покровной культурой [7].

Исследования показывают, что на дерново-подзолистых почвах внесение фосфорно-калийных удобрений повышает содержание обменной

энергии в сухом веществе корма, существенно улучшая его кормовую ценность [8]. В то же время избыток азотных удобрений, особенно при покровном посеве, приводит к снижению сохранности клевера при перезимовке и угнетает развитие клубеньковых бактерий, снижая симбиотическую азотфиксацию растений [9].

В Смоленской области, где применение минеральных удобрений в 2023 г. достигло 79 кг/га (в 7 раз больше, чем в 2013 г.), но остается в 1,7 раза ниже уровня 1990-х гг., наблюдается дисбаланс в системе питания растений. Органические удобрения используются лишь на 6 % посевных площадей, что вдвое ниже показателей тридцатилетней давности [10]. В таких условиях расширение посевов клевера лугового может стать инструментом не только экономии азотных удобрений, но и сохранения гумусового состояния почв.

Несмотря на значительный объем исследований, посвященных клеверу, вопросы оптимизации доз фосфорно-калийных удобрений в условиях современного уровня почвенного плодородия Нечерноземья остаются недостаточно изученными. Это особенно актуально для Смоленской области, где сложившиеся агрохимические показатели плодородия почвы и климатические условия требуют региональной адаптации рекомендаций по применению удобрений.

Цель исследований – установить оптимальные параметры фосфорно-калийного питания клевера лугового в конкретных почвенно-климатических условиях региона, что позволит повысить его продуктивность и минимизировать экологические риски.

Материалы и методы

Исследования проводили в 2022-2024 гг. на опытном поле ОП Смоленский НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК в п. Стодолище Починковского района Смоленской области в трех полях на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с низким содержанием гумуса (2,0 %), слабокислой реакцией среды ($pH_{KCl}=5,4$), повышенным содержанием подвижного фосфора по Кирсанову (142...148 мг/кг), средним содержанием калия (98...105 мг/кг).

Опыт заложен в 3-х кратной повторности, размещение делянок – рендомизированное, площадь опытной делянки – 60 м².

Опытной культурой выступал клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) сорт Починковец. Это раннеспелый, двуукосный, зимостойкий высокопродуктивный сорт, внесенный в Государственный реестр селекционных достижений для Центрального (3) региона в 2018 г.

Сорт обеспечивает среднюю урожайность 7,9 т/га при максимальной урожайности 21,8 т/га (данные за 2016 г., травостой 2-го года жизни, ГСУ Рязанской области). В сухом веществе содержится 16,5 % белка и 27,2 % клетчатки. Сбор белка составляет 19,2 ц/га.

Клевер сорта Починковец обладает высокой устойчивостью к корневым гнилям и толерантностью к склеротиниозу.

Схема опыта: 1 – контроль без удобрений; 2 – P₄₈; 3 – K₄₈; 4 – P₄₈K₄₈; 5 – P₁₆K₁₆; 6 – P₃₂K₃₂; 7 – P₈₀K₃₂; 8 – P₃₂K₈₀. Фосфорно-калийные удобрения (Рсд и Кх) внесены под покровную культуру (овес). Посев клевера проведен в следующие сроки: 12 мая 2021 г. (первое поле), 23 мая 2022 г. (второе поле), 8 мая 2023 г. (третье поле) с нормой высева семян 8 кг/га. Весной второго года жизни клевера проведена подкормка аммиачной селитрой (N₂₀). Ежегодно выполнялось два укоса биомассы: в 2022 г. – 6 июля (фаза полного цветения) и 5 сентября (фаза бутонизации и начала цветения), в 2023 г. – 16 июня и 28 августа, в 2024 г. – 26 июня и 30 августа (в оба г. первый укос – в начале цветения, а второй – в фазе бутонизации).

Исследования выполнены в соответствии с методикой Госсортокмиссии (1989). Содержание протеина в сене определено с помощью ИК-анализатора NIRSystems 4500, фосфора – по ГОСТ 26657-97, калия – по ГОСТ 30504-97. Статистическая обработка данных произведена по Б.А. Доспехову с использованием программы MS Excel.

Метеорологические условия в разные годы исследования существенно различались.

Вегетационный период 2022 г. отличался от климатической нормы прохладой и избыточной влажностью. Гидротермический коэффициент (ГТК) за май-август составил 1,55, что указывает на избыточное увлажнение. Однако август 2022 г. стал исключением: он был сухим и жарким. Несмотря на резкое изменение погоды в конце периода, год в целом оказался благоприятным для развития лугового клевера.

В 2023 г. май и июнь отмечались повышенными температурами и дефицитом осадков (в 2,5 раза ниже нормы), что привело к острому недостатку влаги перед первым укосом лугового клевера. В целом за вегетационный период (май-август) сумма активных температур соответствовала климатической норме, однако количество осадков сократилось в 1,6 раза. ГТК составил 1,03, указывая на приближение к засушливым условиям. Это отрицательно сказалось на накоплении биомассы клевера, который испытал стресс из-за нехватки влаги.

В 2024 г. погодные условия в мае-августе, хотя и были благоприятнее, чем в 2023 г., отличались неравномерным распределением осадков: 49 % выпало в июне (71 % – в июне-июле), тогда как норма предполагает 25 и 52 % соответственно. Повышение средней температуры воздуха на 2 °C стимулировало рост суммы активных температур, которая увеличилась на 10 % относительно многолетних значений. ГТК достиг 1,8, что указывает на избыточное увлажнение. Однако резкие колебания влаги создали непредсказуемый микроклимат, усложнивший развитие лугового клевера.

Результаты

Агрометеорологические условия существенно повлияли на урожайность клевера лугового (табл. 1). Наиболее продуктивным оказался 2022 г. суммарная урожайность превысила показатели 2023 г. в 1,8...2,8 раза и 2024 г. – в 1,3...1,7 раза. В 2023 г. при дефиците осадков была зафиксирована минимальная урожайность. Отличие от 2022 и 2024 гг. заключалось в том, что в первом укосе показатели были ниже, чем во втором, что связано с аномально низким уровнем увлажненности в мае и июне.

В 2022 и 2024 гг. применение всех удобрений в оба укоса обеспечило статистически достоверное повышение урожайности по сравнению с контрольным вариантом. Наибольший эффект отмечен в

варианте $P_{48}K_{48}$: в 2022 г. суммарная урожайность удвоилась, а в 2024-м – увеличилась на 70 %. Доля участия такого сочетания минеральных удобрений в создании урожая, определенная как отношение прибавки урожая к общей урожайности в варианте, составила в 2022 г. 49,5 %, а в 2024 г. – 40 %. В 2023 г. значимые приросты от удобрений были отмечены только при повышенных дозах ($P_{48}K_{48}$, $P_{80}K_{32}$ и $P_{32}K_{80}$), что подчеркивает зависимость эффективности удобрений от влагообеспеченности. Доля участия удобрений в создании урожая равнялась 33,7, 21,4 и 28,6 % соответственно. Этот показатель помогает оценить реальный вклад удобрений в урожай в разных условиях, что важно для планирования затрат.

Таблица 1. Урожайность сена клевера лугового, т/га

Вариант	2022 год			2023 год			2024 год		
	I укос	II укос	сумма	I укос	II укос	сумма	I укос	II укос	сумма
Контроль	7,0	3,1	10,1	2,2	3,3	5,5	4,2	3,3	7,5
P_{48}	11,6	4,0	15,7	2,0	3,9	5,9	5,8	3,5	9,3
K_{48}	10,9	4,5	15,5	2,2	3,3	5,5	5,1	3,7	8,8
$P_{48}K_{48}$	13,9	6,1	20,0	3,2	5,1	8,3	8,3	4,2	12,5
$P_{16}K_{16}$	8,3	4,1	12,3	2,1	3,3	5,4	4,9	3,2	8,1
$P_{32}K_{32}$	10,5	4,3	14,9	2,3	3,6	5,9	5,6	3,1	8,7
$P_{80}K_{32}$	11,3	4,0	15,5	2,4	4,6	7,0	5,4	4,0	9,5
$P_{32}K_{80}$	10,7	4,1	14,8	3,3	4,4	7,7	6,2	3,3	9,5
$HCP_{0,5}$	0,64	0,61	1,06	0,36	0,39	0,60	0,54	0,54	0,70

Известно, что с обеспеченностью фосфором и калием связана азотфиксирующая способность клевера, обусловленная симбиозом с бактериями рода *Rhizobium* [11]. Фосфор стимулирует развитие корневой системы и образование клубеньков, его недостаток может привести к слабому развитию корней и уменьшению количества клубеньков, что ослабит снабжение растений азотом. Калий укрепляет клеточные мембраны и повышает устойчивость растений к стрессам, которые могут негативно влиять на активность бактерий.

Поэтому на фоне повышенного фосфорно-калийного питания при соотношении $P:K=1:1$ урожайность клевера была максимальной. Важно отметить, что в 2022 и 2024 гг. урожайность превысила средние показатели для данного сорта, приблизившись к рекордным значениям 2016 г. (21,8 т/га) – в 2022 г. на фоне $N_{48}P_{48}$ она составила 20,0 т/га.

Урожайность лугового клевера тесно связана с погодными условиями, особенно с уровнем влаги. Засухи оказывают негативное влияние на продуктивность, особенно при формировании первого укоса, когда растения наиболее чувствительны к дефициту влаги. Эффективность минеральных удобрений достигает максимума при оптимальном увлажнении, тогда как в засушливые годы требуется увеличение дозы удобрений на 20...30 %, чтобы компенсировать стрессовые условия. В течение всего наблюдения максимальная урожайность отмечалась при фосфорно-калийном соотношении 1:1

(вариант $P_{48}K_{48}$), что подтверждает важность баланса этих элементов для роста растений.

Для стабильного поддержания высокой урожайности лугового клевера необходимо сочетать адаптивное применение удобрений со сбалансированным фосфорно-калийным питанием. Это способствует поддержанию симбиоза между корнями растений и бактериями рода *Rhizobium*, которые отвечают за азотфиксацию.

В 2022 и 2023 гг. средняя высота растений (табл. 2) была ниже, чем в 2024 г. (например, в контрольном варианте: 38 см → 36 см → 66 см; аналогичная картина наблюдалась и в других вариантах). Это связано с погодными условиями: засухой в 2023 г. и избытком влаги в 2024 г.

Внесение удобрений стимулировало рост растений во все годы, но эффект зависел от агрометеорологических условий. В 2024 г. наибольшую высоту демонстрировали варианты $P_{48}K_{48}$ и $P_{80}K_{32}$: в первом укосе по 92 см, во втором – 79 и 77 см соответственно. Это подтверждает важность баланса фосфора и калия для оптимального роста растений. В засушливом 2023 г. разница между этими вариантами и другими была минимальной (например, $P_{48}K_{48}$ и $P_{80}K_{32}$ – 54 см против 56 см у $P_{32}K_{80}$), однако прибавка к контрольным значениям (36 см) оставалась достоверной. В 2022 г. явное преимущество варианта $P_{48}K_{48}$ наблюдалось в оба укоса (средняя высота 64 см против 38 см у контроля), что коррелирует с максимальной урожайностью в этом г. (21,8 т/га).

Таблица 2. Высота растений клевера лугового, см

Вариант	2022 г.			2023 г.			2024 г.		
	I укос	II укос	Средн.	I укос	II укос	Средн.	I укос	II укос	Средн.
Контроль	42	35	38	39	34	36	76	56	66
P ₄₈	57	53	55	55	53	53	82	72	77
K ₄₈	45	48	46	42	49	45	81	72	77
P ₄₈ K ₄₈	71	58	64	56	53	54	92	79	85
P ₁₆ K ₁₆	56	50	53	55	49	52	77	66	72
P ₃₂ K ₃₂	59	52	55	56	51	53	84	67	76
P ₈₀ K ₃₂	59	50	54	59	51	54	92	77	86
P ₃₂ K ₈₀	61	49	55	60	53	56	88	68	78
HCP _{0,5}	2,0	2,6	1,5	2,5	2,4	1,5	4,2	8,0	4,5

Таким образом, устойчивая высота растений и урожайность лугового клевера зависели от баланса фосфора и калия в удобрениях. Для адаптивного управления производственным процессом критически важно учитывать агрометеорологические условия и химический состав почвы. При выращивании клевера на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со слабокислой реакцией среды, повышенным содержанием подвижного фосфора и средним уровнем калия в засушливые годы (как 2023 г.) требуется оптимизация доз фосфорно-калийных удобрений для компенсации стрессовых условий, а при

избытке влаги (как в 2024 г.) максимальный эффект достигается за счет комбинации P₄₈K₄₈ или P₈₀K₃₂.

Содержание сырого протеина в сене клевера лугового определялось уровнем фосфорно-калийного питания. В контрольном варианте (без удобрений) оно колебалось в пределах 11,5...12,0 %, не зависимо от погодных условий (табл. 3). В 2022 и 2023 гг. максимальное содержание сырого протеина (13,1...13,9 %) отмечено в вариантах с повышенной дозой фосфора и его сочетанием с калием (P₄₈, P₄₈K₄₈ и P₈₀K₃₂). Это подчеркивает важность баланса этих элементов.

Таблица 3. Содержание сырого протеина, фосфора и калия в сене клевера лугового, % (среднее за 2 укоса)

Вариант	2022 год			2023 год			2024 год		
	сырой протеин	P ₂ O ₅	K ₂ O	сырой протеин	P ₂ O ₅	K ₂ O	сырой протеин	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	11,7	0,50	1,30	11,5	0,48	1,22	12,0	0,46	1,34
P ₄₈	13,9	0,47	1,53	13,7	0,46	1,39	13,0	0,49	1,59
K ₄₈	12,8	0,48	1,45	12,4	0,45	1,36	13,0	0,47	1,50
P ₄₈ K ₄₈	13,3	0,49	1,40	13,7	0,50	1,45	14,0	0,49	1,48
P ₁₆ K ₁₆	13,0	0,48	1,41	12,5	0,48	1,42	12,4	0,46	1,49
P ₃₂ K ₃₂	12,9	0,49	1,42	12,6	0,50	1,34	13,0	0,47	1,50
P ₈₀ K ₃₂	13,4	0,48	1,50	13,1	0,46	1,45	13,4	0,47	1,53
P ₃₂ K ₈₀	10,4	0,50	1,37	10,1	0,49	1,32	11,8	0,51	1,58

Фосфор участвует в синтезе АТФ – основного источника энергии для биосинтеза белков, входит в состав ДНК и РНК, кодирующих белки. Дефицит фосфора ведет к накоплению небелковых соединений азота, ухудшению качества продукции, нарушению роста растений [4, 12, 13].

Калий стимулирует работу ферментов, участвующих в синтезе белков (например, аминотрансфераз), уменьшает накопление аммиака, повышая эффективность использования азота для синтеза белков [14].

Содержание сырого протеина практически не зависело от агрометеорологических условий (например, засухи 2023 г. или избытка влаги в 2024 г.), что связано с генотипической устойчивостью к внешним факторам. Однако вариант P₃₂K₈₀ рискован в засушливые годы из-за дисбаланса калия.

Кроме сырого протеина к основным показателям качества корма относится содержание фосфора и калия. Содержание фосфора варьировалось от 0,46 до 0,50 % в контрольном варианте и до 0,49...0,51 % в вариантах с удобрением. Это

соответствует зоотехническим требованиям (не менее 0,45 %) и свидетельствует о слабой зависимости содержания фосфора в сене от удобрений.

Содержание калия в кормах, как правило, высокое, и он до 80...90 % усваивается животными. Длительное потребление кормов с избытком калия может вызвать дисбаланс электролитов в организме животных (например, гиперкалиемию).

Несмотря на изменчивость погоды и уровня удобрений, содержание фосфора и калия в сене клевера оставалось стабильным благодаря генетически закрепленным механизмам регуляции химического состава растений. Это позволяет предсказывать качество корма даже в стрессовых условиях.

Сбор сырого протеина и вынос питательных элементов урожаем определялся главным образом величиной урожая, поэтому максимальные значения этих показателей во все годы отмечены в варианте P₄₈K₄₈ (табл. 4).

В среднем 1 т сена клевера Починковец содержит: 12,7 ц сырого протеина, 4,8 кг P₂O₅ и 14,6 кг K₂O. Эти величины можно принять за нормативы выноса для клевера лугового при разработке сортовой

агротехники на дерново-подзолистых почвах Смоленской области и для оценки кормовых достоинств сена.

Расчет экономической эффективности удобрений на клевере проведен на основе сравнения дополнительных затрат, связанных с применением удобрений, со стоимостью прибавки урожая. К дополнительным затратам относится приобретение, доставка, хранение, внесение удобрений, уборка, доработка и реализация дополнительного урожая.

При расчете экономической эффективности минеральных удобрений учтено их последствие на клевер, который был высеван под покровную культуру. Поскольку фосфорно-калийные удобрения продолжают действовать во второй год после

внесения, в расчетах были использованы не полные затраты на удобрения, а только та их часть, которая соответствует остаточному эффекту: для фосфорных удобрений учтено – 10% от их стоимости, калийных – 20%. Затраты на внесение удобрений также были скорректированы: они составили половину от полных затрат (полные затраты на внесение оцениваются примерно в 30 % от стоимости удобрений).

Затраты на уборку дополнительного урожая составили 1000 руб./га, а на доработку, транспортировку и хранение клеверного сена – 1400 руб./т. Средняя стоимость 1 т сена принята на уровне – 3500 руб. Цены на минеральные удобрения составляют: двойной суперфосфат – 38000 руб./т, хлористый калий – 25000 руб./т (табл. 5).

Таблица 4. Сбор протеина (ц/га) и вынос питательных элементов урожаем клевера (кг/га)

Вариант	2022 год			2023 год			2024 год		
	сырой протеин	P ₂ O ₅	K ₂ O	сырой протеин	P ₂ O ₅	K ₂ O	сырой протеин	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	10,0	42,9	129	5,3	22,4	57	7,6	29,3	85
P ₄₈	18,5	62,7	204	6,8	17,9	69	12,1	38,6	125
K ₄₈	16,8	63,2	190	5,8	21,0	63	10,2	35,1	112
P ₄₈ K ₄₈	22,3	83,3	238	9,6	35,2	102	14,8	53,2	157
P ₁₆ K ₁₆	13,4	50,1	147	5,7	22,0	80	8,5	31,7	104
P ₃₂ K ₃₂	16,4	62,0	179	6,3	25,0	67	9,6	34,7	110
P ₈₀ K ₃₂	17,6	63,2	197	7,8	27,4	113	10,9	37,9	123
P ₃₂ K ₈₀	13,0	62,9	171	6,6	32,0	85	9,5	41,1	127

Таблица 5. Экономическая эффективность минеральных удобрений при выращивании клевера лугового (по средним данным за 3 г.)

Вариант	Прибавка урожая к контролю, т/га	Стоимость дополнительных затрат, тыс. руб./га	Стоимость прибавки урожая, тыс. руб./га	Чистый доход, тыс. руб./га	Окупаемость дополнительных затрат прибавкой урожая, руб./руб.
P ₄₈	2,6	4,9	9,1	4,2	1,86
K ₄₈	2,2	4,3	7,7	3,4	1,79
P ₄₈ K ₄₈	5,9	10,0	20,6	10,6	2,06
P ₁₆ K ₁₆	0,9	2,4	3,1	0,7	1,29
P ₃₂ K ₃₂	2,1	4,4	7,3	2,9	1,66
P ₈₀ K ₃₂	3,0	13,6	10,5	- 3,1	–
P ₃₂ K ₈₀	3,0	6,1	10,5	4,4	1,72

Расчеты показали, что наибольшая экономическая эффективность достигнута в варианте P₄₈K₄₈: чистый доход составил 10,6 тыс. руб./га, окупаемость дополнительных затрат прибавкой урожая – 2,06 руб./руб. Вариант P₈₀K₃₂ оказался убыточным из-за высокой дозы (и, соответственно, стоимости) двойного суперфосфата.

Обсуждение

Исследования по оптимизации фосфорно-калийного питания клевера лугового в условиях Смоленской области подтвердили ключевую роль сбалансированного минерального питания в повышении продуктивности культуры. Максимальная урожайность сена (12,5...20 т/га) в годы с избыточным увлажнением достигалась при внесении фосфорно-калийных удобрений в дозах P₄₈K₄₈, что в 1,7...2,0 раза превышало контрольные показатели. В засушливых условиях (2023 г.) эффективность

удобрений была ниже, однако дозы P₈₀K₃₂ и P₃₂K₈₀ обеспечивали прибавку урожая к контролю на 27...40 %. Содержание сырого протеина в сене соответствовало зоотехническим требованиям. В среднем 1 т сена клевера Починковец содержала: 12,7 ц сырого протеина, 4,8 кг P₂O₅ и 14,6 кг K₂O. Эти величины можно принять за нормативы выноса при разработке сортовой агротехники на дерново-подзолистых почвах Смоленской области и для оценки кормовых достоинств сена.

Заключение

По совокупности параметров агрономической и экономической эффективности в почвенно-климатических условиях Смоленской области лучшим признан вариант P₄₈K₄₈, обеспечивающий получение до 20,0 т/га сена клевера лугового с высокими показателями качества.

Литература

1. Феоктистова Н. А. Соотношение кормовой и семенной продуктивности клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в Западной Сибири // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20. № 1(77). С. 34-40. doi:10.12737/2073-0462-2025-1-34-40
2. Клевер луговой – важная кормовая культура в Западной части Нечерноземной зоны / А. Д. Прудников, А. Г. Прудникова, М. И. Перепичай и др. // Аграрная наука. 2024. № 3. -С. 134-140
3. Гаврилова А. Ю., Конова А. М. Урожайность многолетних трав и плодородие дерново-подзолистей почвы при длительном внесении минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2 (54). С. 71-77.
4. Новикова Н. Е., Самсонова Н. Е. Минеральное питание растений и применение удобрений. Орел: ОрелГАУ, 2008. 200 с.
5. Кулюкин А. Н., Самсонова Н. Е., Зыков Н. А. Урожайность сельскохозяйственных культур и усвоение фосфора из удобрений с пониженной растворимостью фосфатного компонента // Агрохимия. 2007. №8. С. 28-34.
6. Самсонова Н. Е., Родченков С. Н. Использование удобрений с пониженной растворимостью фосфатного компонента и фосфатное состояние дерново-подзолистых почв // Агрохимия. 2007. № 9. С. 24-31.
7. Влияние возрастающих доз азота на кормовую продуктивность многолетних трав / С. В. Иванова, О. В. Курдакова, А. М. Конова и др. // Аграрный научный журнал. 2019. № 12. С. 19-24.
8. Налиухин А. С., Смирнова А. А. Влияние различных систем удобрения и известкования на урожайность и химический состав клевера лугового // Плодородие. 2024. № 4 (139). С. 23-26.
9. Володькина Л. В. Совершенствование технологии возделывания клевера лугового в условиях Центральной Беларуси // Мелиорация. 2021. № 2 (96). С. 49-54.
10. Смоленская область в цифрах. 2024: Крат. стат. сб. / Смоленскстат С., 2024. 348 с.
11. Шабает В. П. Продуктивность клевера и вынос питательных элементов растениями при инокуляции смешанными культурами микроорганизмов в различных условиях минерального питания //Агрохимия. 2007. № 12. С. 18-26.
12. Белоцветова О. Ю., Шильников И. А., Кирпичников Н. А. Влияние фосфорных удобрений различной степени растворимости и известкования на качество растительной продукции (по итогам длительного полевого опыта) // Агрохимия. 2000. № 5. С. 41-46.
13. Свирина В. А., Черногаев В. Г. Влияние минеральных удобрений и известкования на динамику эмиссии CO₂, урожай и качество продукции культур звена севооборота // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 5. С. 45-50.
14. Косолапов В. М., Чуйков В. А., Худякова Х. К Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография. М: ООО «Угрешская типография», 2019. 272 с.

References

1. Feoktistova N. A. Ratio of forage and seed productivity of red clover (*Trifolium pratense* L.) in western Siberia // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2025. Vol. 20, No. 1(77). P. 34-40. doi:10.12737/2073-0462-2025-1-34-40.
2. Red clover - the most important forage crop in the western part of the Non-Black soil zone / A. D. Prudnikov, A. G. Prudnikova, M. I. Perepichaya, et al. // Agrarian science. 2024. No. 3. P. 134-140
3. Gavrilova A. Yu., Konova A. M., Productivity of perennial grasses and fertility of sod-podzolic soil with long-term application of mineral fertilizers // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. No. 2 (54). P. 71-77.
4. Novikova N. E., Samsonova N. E. Mineral nutrition of plants and application of fertilizers. Orel: OrelSAU, 2008. 200 p.
5. Kulyukin A. N., Samsonova N. E., Zykov N. A. Agricultural crop yields and phosphorus absorption from fertilizers with reduced solubility of the phosphate component // Agrochemistry. 2007. No. 8. P. 28-34.
6. Samsonova N. E., Rodchenkov S. N. Use of fertilizers with reduced solubility of the phosphate component and the phosphate state of sod-podzolic soils // Agrochemistry. 2007. No. 9. P. 24-31.
7. Effect of increasing doses of nitrogen on the forage productivity of perennial grasses / S. V. Ivanova, O. V. Kurdakova, A. M. Konova, et al. // Agrarian scientific journal. 2019. No. 12. P. 19-24.
8. Naliukhin A. S., Smirnova A. A. Effect of Various Fertilizer and Liming Systems on the Yield and Chemical Composition of Red Clover // Soil fertility. 2024. No. 4 (139). P. 23-26.
9. Volodkina L. V. Improving Red Clover Cultivation Technology in Central Belarus // Melioration. 2021. No. 2 (96). P. 49-54.
10. Smolensk Region in Figures. 2024: Brief Statistical Collection / Smolenskstat S., 2024. 348 p.
11. Shabaev V. P. Clover productivity and nutrient removal by plants inoculated with mixed microbial cultures under various mineral nutrition conditions // Agrochemistry. 2007. No. 12. P. 18-26.
12. Belotsvetova O. Yu., Shilnikov I. A., Kirpichnikov N. A. Effect of phosphorus fertilizers with different degrees of solubility and liming on the quality of plant products (based on the results of a long-term field experiment) // Agrochemistry. 2000. No. 5. P. 41-46.

13.Svirina V. A., Chernogaev V. G. Effect of mineral fertilizers and liming on the dynamics of co2 emissions, yield, and product quality of crop rotation crop products // Vestnik of Russian Agricultural Science. 2024. No. 5. P. 45-50.

14.Kosolapov, V. M., Chuikov, V. A., and Khudyakova, H. K. Mineral elements in feeds and methods of their analysis: a monograph. Moscow: Ugreshskaya Typography, 2019. 272 p.