

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО (*TRIFOLIUM PRATENSE* L.) ПРЕПАРАТОМ КЕЛИК-КАЛИЙ-КРЕМНИЙ НА РАЗНЫХ ФОНАХ ФОСФОРНО-КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

¹А.Ю. Гаврилова, ¹А.М. Конова, ²Н.Е. Самсонова

¹Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

²Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, Смоленск, Россия

E-mail: augavrilova@gmail.com

Для цитирования: Гаврилова А.Ю., Конова А.М., Самсонова Н.Е. Эффективность некорневой подкормки клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) препаратом келик-калий-кремний на разных фонах фосфорно-калийного питания в условиях Центрального Нечерноземья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 4 (77). – С. 24–34. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-77-4-24-34.

Ключевые слова: клевер луговой, фосфорно-калийные удобрения, келик K-Si, некорневая подкормка.

Реферат. 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 м/кг) и средним – калия (98–105 мг/кг). Изучали влияние разных сочетаний фосфорно-калийных удобрений и некорневой подкормки растений препаратом келик K-Si на урожайность, содержание в сене сырого протеина, фосфора и калия. Максимальная урожайность от удобрений достигнута при дозе $P_{48}K_{48}$ 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) наблюдались в варианте $P_{80}K_{32}$. Некорневая подкормка клевера 1%-м раствором препарата позволила существенно повысить урожайность с лучшим эффектом на фоне $P_{48}K_{48}$. Максимальное содержание сырого протеина (13,0–13,9 %) отмечено в вариантах с повышенной дозой фосфора и его сочетанием с калием ($P_{48}K_{48}$ и $P_{80}K_{32}$). Содержание фосфора и калия в сене соответствовало зоотехническим нормам и оставалось стабильным благодаря генетически закрепленным механизмам регуляции химического состава растений. В среднем 1 т сена клевера Починковец содержит 12,7–12,9 ц сырого протеина, 4,8–5,3 кг P_2O_5 и 14,6–14,9 кг K_2O . 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. По совокупности показателей агрономической и экономической эффективности лучшими следует признать варианты $P_{48}K_{48}$ и « $P_{48}K_{48}$ + некорневая подкормка». Некорневые подкормки препаратом келик K-Si позволяют добиться заметного эффекта, минимизировать экологические риски и могут быть легко интегрированы в существующую систему агротехнических мероприятий.

THE EFFECTIVENESS OF FOLIAR TOP DRESSING OF MEADOW CLOVER (*TRIFOLIUM PRATENSE* L.) WITH THE PREPARATION KELIK-POTASSIUM-SILICON ON DIFFERENT BACKGROUNDS OF PHOSPHORUS-POTASSIUM NUTRITION IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL NON-CHERNOZEM REGION

¹A.Yu. Gavrilova, ¹A.M. Konova, ²N.E. Samsonova

¹Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

²Smolenskaya State Agricultural Academy, Smolensk, Russia

E-mail: augavrilova@gmail.com

Keywords: meadow clover; phosphorous-potash fertilizers; kelik-K-Si; foliar top dressing.

Abstract. To determine the optimal doses of phosphorus-potassium fertilizers for growing meadow clover (Pochinkovets variety) in 2022–2024, a field study was conducted on sod-podzolic medium loamy soil of the Smolensk region (pH 5.4) with a low humus content (2.0 %), increased phosphorus (142–148 m/kg) and medium potassium (98–105 mg/kg). The effect of various combinations of phosphorus-potassium fertilizers and foliar top dressing of plants with kelik-K-Si on yield, the content of crude protein, phosphorus and potassium in hay was

studied. The maximum yield was achieved at a dose of R48K48 in 2022 (GTK 1.55) and in 2024 (GTK 1.80) – 20.0 and 12.5 t/ha of hay, respectively. In the dry year of 2023, the best indicators (8.3 t/ha) were observed in the R80K32 variant. Foliar top dressing of clover with a 1% solution of the drug significantly increased the yield. The maximum crude protein content (13.0–14.0 %) was observed in variants with an increased dose of phosphorus and its combination with potassium (P48, P48K48 and P80K32). The phosphorus and potassium content in hay corresponded to zootechnical standards and remained stable due to genetically fixed mechanisms of regulation of the chemical composition of plants. On average, 1 ton of clover hay contains Pochinkovets: 12.7–12.9 c of crude protein, 4.8–5.3 kg of P₂O₅ and 14.6–14.9 kg of K₂O. These values can be taken as removal standards for meadow clover in the development of varietal agricultural machinery on sod-podzolic soils of the Smolensk region and to assess the fodder advantages of hay. According to the totality of agronomic and economic efficiency indicators, the best options are R48K48 and R48K48+ foliar top dressing with kelik-K-Si. Non-root top dressing can achieve a noticeable effect, minimize environmental risks and can be easily integrated into the existing system of agrotechnical measures.

Клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) является многолетней кормовой культурой, способной обеспечивать сельскохозяйственных животных высококачественными кормами и повышать экономическую рентабельность использования пахотных угодий. Уникальная способность к симбиотической фиксации атмосферного азота делает его незаменимым компонентом севооборотов, способствуя улучшению плодородия почв и снижению зависимости от азотных удобрений [1].

Корневая система клевера способна накапливать в почве до 100–150 кг/га азота и преобразовывать труднорастворимые соединения фосфора в доступные формы, что особенно важно в условиях ограниченных ресурсов. Однако избыток азотных удобрений может негативно сказаться на зимостойкости клевера и угнетать развитие клубеньковых бактерий. Исследования показывают, что на дерново-подзолистых почвах внесение фосфорно-калийных удобрений повышает содержание обменной энергии в сухом веществе корма, существенно улучшая его питательную ценность [2, 3]. Поэтому эффективность возделывания клевера напрямую зависит от грамотного применения удобрений, особенно в условиях меняющегося климата. Так, в первой четверти XXI в. в России частота засух значительно возросла: за период с 2000 по 2024 г. отмечено одиннадцать засушливых лет, тогда как с 1975 по 2000 г. их было всего шесть.

Минеральные удобрения играют ключевую роль в повышении устойчивости растений к неблагоприятным условиям. Калий повышает устойчивость растений к полеганию, поражению болезнями и вредителями, а также защищает их от перепадов температур и дефицита влаги. Фосфор способствует экономному расходованию воды, участвует в фотосинтезе, дыхании и энергетическом обмене, повышает устойчивость растений к засухе и низким температурам. Микроэлементы,

такие как медь, марганец, кобальт и молибден, также оказывают положительное влияние. В то же время высокие дозы азота могут действовать противоположно.

Особое внимание в последнее время уделяется роли кремния в питании растений. Его содержание в кормовых культурах разное: в злаках около 1,7 %, а в двудольных примерно 0,9 %. Поскольку животные усваивают кремний из корма очень слабо, его количество можно использовать как показатель переваримости растительной пищи [4].

Кремний действует на растения многосторонне: активизирует фотосинтез, регулирует водный баланс [5, 6], усиливает биосинтез вторичных метаболитов, осуществляющих самозащиту растений [7–9], повышает урожайность и его качество [10–13], а также укрепляет клеточные стенки [14, 15], создавая механический барьер для патогенов и насекомых и предотвращая полегание растений. Установлено, что в растениях происходит активное его перераспределение с переносом в ткани, которые в большей степени подвержены стрессу [16, 17].

Использование кремниевых соединений в земледелии может существенно смягчить негативные последствия ставшего реальностью глобального потепления климата.

Кремний может поступать в растения как через корень, так и через лист при проведении некорневых подкормок, которые имеют ряд преимуществ перед корневым поступлением: быстрое усвоение через листовые ткани и включение в метаболизм растений, точечное воздействие, эффективность в случае плохой корневой доступности (например, если низкий pH и высокое содержание в почве железа и алюминия).

Хотя эффективность foliarного питания растений кремния подтверждена для многих культур,

данных о его использовании для клевера лугового недостаточно.

Таким образом, несмотря на значительный объем исследований, вопросы оптимизации доз фосфорно-калийных удобрений и изучения кремниевого питания клевера по-прежнему остаются актуальными.

Цель настоящей работы заключается в установлении оптимальных параметров фосфорно-калийного и кремниевого питания клевера лугового в конкретных почвенно-климатических условиях региона для повышения его продуктивности и минимизации экологических рисков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2022–2024 гг. в многофакторном полевом опыте ФГБНУ ФНЦ ЛК, включенном в реестр Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами (Аттестат длительного опыта № 171), в п. Стодолище Починковского района Смоленской области Российской Федерации в трех полях на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с низким содержанием гумуса (2,0 %), слабокислой реакцией среды ($\text{pH}_{\text{КСИ}}$ 5,4), повышенным содержанием подвижного фосфора по Кирсанову (142–148 мг/кг), средним содержанием калия (98–105 мг/кг). Глубина пахотного слоя 23–25 см.

Опыт заложен в 3-кратной повторности, размещение делянок – рендомизированное с использованием метода расщепления, площадь элементарной опытной делянки – 20 м².

Опытной культурой был районированный раннеспелый, двуукосный, зимостойкий, высокопродуктивный сорт клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) Починковец, внесенный в Государственный реестр селекционных достижений для Центрального (3) региона в 2018 г. Средняя урожайность сорта – 7,9 т/га, растения обладают высокой устойчивостью к корневым гнилям и толерантностью к склеротиниозу. Сухое вещество содержит 16,5 % белка и 27,2 % клетчатки. Сбор белка составляет 19,2 ц/га.

В исследовании использована комплексная схема для изучения влияния разных доз и сочетаний фосфорно-калийных удобрений с некорневой подкормкой соединением кремния на продуктивность и качество клевера лугового. Схема удобрений включала восемь вариантов: контроль без удобрений, P_{48} , K_{48} , $\text{P}_{48}\text{K}_{48}$, $\text{P}_{16}\text{K}_{16}$, $\text{P}_{32}\text{K}_{32}$, $\text{P}_{80}\text{K}_{32}$, $\text{P}_{32}\text{K}_{80}$. Фосфорные (Рсд) и калийные (Кх) удобрения

были внесены под посев покровной культуры – овса. Посев клевера проведен в следующие сроки: 12 мая 2021 г. (первое поле), 23 мая 2022 г. (второе поле), 8 мая 2023 г. (третье поле). Норма высева семян составила 8 кг/га. Весной второго года жизни клевера растения были подкормлены аммиачной селитрой (N_{20}).

В фазу бутонизации клевера была проведена некорневая подкормка растений растворами кремнийсодержащего препарата келик-калий-кремния (келик K-Si), который содержит 15 % калия, 10 % кремния, хелатирующий агент EDTA (2 %). Препарат проявляет иммунопротекторные свойства, рекомендован для некорневой подкормки зерновых, пропашных, технических культур (1%-й раствор – 1–2 дм³ препарата на 1 га), плодово-ягодных и овощных культур (0,5–1 % раствор). На клевере луговом препарат не испытан.

Процедуру выполняли утром для обеспечения оптимального поглощения веществ растениями. Использовано два варианта концентраций раствора: 0,5 и 1,0 % (расхода препарата – 1 и 2 дм³/га).

Таким образом, схема позволяла оценить влияние как традиционных фосфорно-калийных удобрений, так и их сочетания с кремниевым удобрением на рост и продуктивность клевера лугового в конкретных почвенно-климатических условиях, что составляет научную новизну исследования.

Ежегодно проводили два укоса биомассы: в 2022 г. – 6 июля и 5 сентября, в 2023 г. – 16 июня и 28 августа, в 2024 г. – 26 июня и 30 августа.

Исследования выполнены в соответствии с методикой Госсорткомиссии (1989). Содержание протеина в сене определяли с помощью ИК-анализатора NIRSystems 4500, фосфора – по ГОСТ 26657–97, калия – по ГОСТ 30504–97. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы MS Excel по Б.А. Доспехову. Коэффициент отзывчивости $K_{\text{отз}}$ рассчитывался как отношение урожайности соответствующих вариантов к контролю.

Метеорологические условия в разные годы исследования существенно различались.

Вегетационный период 2022 г. отличался прохладной и влажной погодой, что благоприятно сказалось на развитии клевера. Гидротермический коэффициент (ГТК) за май–август составил 1,55, что указывает на избыточное увлажнение. Однако резкое уменьшение осадков и повышение температуры воздуха в августе привели к стрессу у растений перед вторым укосом.

В 2023 г. май и июнь отмечены 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., но распределение осадков было неравномерным: 49 % выпало в июне (71 % – в июне-июле), тогда как норма предполагает 25 и 52 % соответственно.

Повышение средней температуры воздуха на 2 °С стимулировало рост суммы активных температур, которая увеличилась на 10 % относительно многолетних значений. ГТК достиг 1,8, что указывает на избыточное увлажнение. Резкие колебания влаги создали непредсказуемый микроклимат, усложнивший развитие лугового клевера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Агрометеорологические условия оказали существенное влияние на урожайность клевера лугового (табл. 1). Наиболее высокая продуктивность была зафиксирована в 2022 г.: суммарная урожайность превысила показатели 2023 г. в 1,8–2,8 раза и 2024 г. – в 1,3–1,7 раза. В засушливом 2023 г. урожайность была минимальной.

Таблица 1

Урожайность сена клевера, т/га
Clover hay yield, t/ha

Вариант	Без подкормки			С подкормкой келик K-Si			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Раствор, %	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	10,1	5,5	7,5	1,0	10,3	4,9	8,4
				0,5	9,6	4,4	7,9
P ₄₈	15,7	5,9	9,3	1,0	17,4	6,0	10,8
				0,5	15,7	5,0	9,0
K ₄₈	15,5	5,5	8,8	1,0	16,7	4,6	9,5
				0,5	13,9	4,9	8,5
P ₄₈ K ₄₈	20,0	8,3	12,5	1,0	20,6	9,1	13,4
				0,5	18,3	7,3	12,8
P ₁₆ K ₁₆	12,3	5,4	8,1	1,0	13,8	5,8	8,1
				0,5	11,8	5,0	8,6
P ₃₂ K ₃₂	14,9	5,9	8,7	1,0	16,5	7,1	9,1
				0,5	14,1	5,8	8,0
P ₈₀ K ₃₂	15,5	7,0	9,5	1,0	16,6	10,5	10,5
				0,5	14,7	9,1	9,1
P ₃₂ K ₈₀	14,8	7,7	9,5	1,0	16,7	7,9	10,7
				0,5	14,0	6,9	8,5
НСР _{0,5} 2022 г.: фактор А (удобрения) 0,60; фактор В (подкормка) 0,30. 2023 г.: фактор А (удобрения) 0,32; фактор В (подкормка) 0,16. 2024 г.: фактор А (удобрения) 0,49; фактор В (подкормка) 0,24.							

В 2022 и 2024 гг. применение минеральных удобрений обеспечило статистически достоверный прирост урожайности по сравнению с контрольным вариантом. Наибольший эффект отмечен в варианте P₄₈K₄₈: в 2022 г. урожайность удвоилась, а в 2024 г. – увеличилась на 70 %. Доля

участия удобрений в создании урожая составила в 2022 г. 49,5 %, а в 2024 г. – 40 %. В засушливом 2023 г. значимые приросты были достигнуты только при повышенных дозах удобрений (P₄₈K₄₈, P₈₀K₃₂ и P₃₂K₈₀). Доля участия удобрений в этот год равнялась 33,7 21,4 и 28,6 % соответствен-

но. Этот показатель помогает оценить реальный вклад удобрений в разных условиях, что важно для планирования затрат.

Эффективность некорневой подкормки растений зависела от минерального фона, дозы препарата и погодных условий. В благоприятные годы (2022 и 2024 гг.) максимальный эффект был достигнут при использовании 1%-го раствора келик K-Si. В засушливом 2023 г. положительный результат был получен только при сочетании подкормки с фосфорно-калийными удобрениями ($P_{48}K_{48}$, $P_{32}K_{32}$, $P_{16}K_{16}$, $P_{32}K_{80}$ и $P_{80}K_{32}$), преимущественно при использовании 1%-го раствора.

Насколько эффективны удобрения и сочетание их с подкормкой для повышения урожайности можно судить по коэффициенту отзывчивости $K_{отз}$ (табл. 2). Наибольшая отзывчивость на удобрения наблюдалась в 2022 г., когда погода способствовала росту клевера ($K_{отз} = 1,22–1,98$). В засушливом 2023 г. коэффициент был существенно ниже (0,98–1,51) с максимумом в варианте $P_{48}K_{48}$. В среднем за три года наибольший $K_{отз}$ был в варианте $P_{48}K_{48}$ (1,72). Некорневая подкормка дополнительно повысила урожайность на этом фоне и $K_{отз}$ составил 1,83.

Таблица 2

Коэффициент отзывчивости клевера лугового на минеральные удобрения и некорневую подкормку препаратом келик K-Si

The coefficient of response of red clover to mineral fertilizers and foliar feeding with the preparation Kelik K-Si

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее за 2022–2024 гг.
Удобрения				
P_{48}	1,55	1,07	1,24	1,29
K_{48}	1,53	1,00	1,17	1,23
$P_{48}K_{48}$	1,98	1,51	1,67	1,72
$P_{16}K_{16}$	1,22	0,98	1,08	1,09
$P_{32}K_{32}$	1,48	1,07	1,16	1,24
$P_{80}K_{32}$	1,53	1,27	1,27	1,36
$P_{32}K_{80}$	1,43	1,40	1,27	1,37
Удобрения + подкормка (1%-й раствор)				
Контроль	1,02	0,89	1,12	1,01
P_{48}	1,72	1,09	1,44	1,42
K_{48}	1,65	0,84	1,27	1,59
$P_{48}K_{48}$	2,04	1,65	1,79	1,83
$P_{16}K_{16}$	1,36	1,05	1,08	1,16
$P_{32}K_{32}$	1,63	1,29	1,21	1,38
$P_{80}K_{32}$	1,64	1,91	1,40	1,65
$P_{32}K_{80}$	1,65	1,44	1,43	1,51

Таким образом, урожайность лугового клевера тесно связана с погодными условиями, особенно с уровнем влагообеспеченности. Засуха негативно влияла на продуктивность. В течение всего наблюдения максимальная урожайность достигнута при сбалансированном соотношении фосфора и калия ($P_{48}K_{48}$). Некорневая подкормка препаратом келик K-Si оказала положительное влияние на формирование биомассы. Лучшие результаты получены при использовании 1%-го раствора препарата. На контроле подкормка оказалась неэффективной.

Содержание сырого протеина в сене клевера лугового зависело от уровня фосфорно-калийного питания. В контрольном варианте оно колебалось в пределах 11,5–12,0 % независимо от погодных условий (табл. 3). Во все годы максимальное его содержание (13,0–13,9 %) отмечено в вариантах с повышенной дозой фосфора и его сочетанием с калием (P_{48} , $P_{48}K_{48}$ и $P_{80}K_{32}$). Это подчеркивает важность баланса этих элементов, принимающих участие в биосинтезе белков [18–20]. Содержание сырого протеина практически не зависело от некорневой подкормки растений и агрометеоро-

логических условий (например, засухи 2023 г. или избытка влаги в 2024 г.). Однако вариант $P_{32}K_{80}$

рискован в засушливые годы из-за дисбаланса калия.

Таблица 3

Содержание сырого протеина, фосфора и калия в сене клевера лугового, %
Content of crude protein, phosphorus and potassium in red clover hay, %

Вариант	2022 г.			2023 г.			2024 г.		
	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O
<i>Удобрения</i>									
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
<i>Удобрения + подкормка (1%-й раствор)</i>									
Контроль	11,8	0,51	1,32	11,7	0,49	1,24	12,2	0,49	1,36
P_{48}	14,0	0,49	1,56	13,8	0,49	1,44	13,2	0,52	1,62
K_{48}	12,8	0,54	1,49	12,6	0,50	1,40	13,2	0,53	1,54
$P_{48}K_{48}$	13,8	0,56	1,47	13,8	0,56	1,50	14,2	0,54	1,56
$P_{16}K_{16}$	13,0	0,52	1,45	12,6	0,49	1,44	12,5	0,49	1,52
$P_{32}K_{32}$	13,0	0,54	1,47	12,7	0,54	1,38	13,1	0,51	1,52
$P_{80}K_{32}$	13,5	0,56	1,57	13,3	0,50	1,50	13,6	0,53	1,56
$P_{32}K_{80}$	10,6	0,55	1,42	10,5	0,55	1,36	12,0	0,55	1,64
<i>Удобрения + подкормка (0,5%-й раствор)</i>									
Контроль	11,7	0,50	1,31	11,5	0,48	1,23	12,0	0,47	1,35
P_{48}	13,9	0,47	1,54	13,7	0,47	1,40	13,1	0,50	1,58
K_{48}	12,7	0,50	1,46	12,5	0,46	1,37	13,0	0,50	1,51
$P_{48}K_{48}$	13,3	0,50	1,41	13,7	0,52	1,47	14,0	0,50	1,50
$P_{16}K_{16}$	12,9	0,48	1,42	12,5	0,49	1,43	12,5	0,47	1,50
$P_{32}K_{32}$	12,9	0,50	1,43	12,6	0,51	1,35	13,0	0,49	1,51
$P_{80}K_{32}$	13,4	0,50	1,52	13,1	0,48	1,47	13,5	0,50	1,51
$P_{32}K_{80}$	10,4	0,51	1,38	10,2	0,50	1,33	11,8	0,51	1,59

Кроме сырого протеина важным показателем качества корма является содержание в сене фосфора и калия. Согласно зоотехническим требованиям в сухой массе корма содержание фосфора должно составлять не менее 0,45 %, а калия – не более 3,5 %. Несмотря на изменчивость погоды и уровень удобрений, содержание фосфора и калия в сене клевера оставалось стабильным благодаря генетически закрепленным механизмам регуляции химического состава растений. Так, содержание

P_2O_5 колебалось от 0,46 до 0,50 % в контрольном варианте и до 0,49–0,51 % в вариантах с удобрением, что соответствовало зоотехническим требованиям.

Использование подкормки 1%-м раствором препарата повысило содержание P_2O_5 в сухой массе клевера до 0,49–0,56 % или по сравнению с соответствующими вариантами без подкормки: в 2022 г. – на 4,0–16,7 отн.%, в 2023 г. – на 1,0–12,2, а в 2024 г. – на 6,5–12,8 отн.%, что следует

признать существенным, но не превышающим максимально допустимый уровень (0,6–0,8 %). Подкормка растений 0,5%-м раствором келик К-Si не изменила содержание фосфора.

Концентрация калия в клевере практически не зависела от подкормки и соответствовала зоотехническим требованиям.

Повышение содержания P_2O_5 в растениях под действием подкормки может быть объяснено усилением активности корневой системы в присутствии кремния, улучшением транспорта элементов благодаря укреплению сосудистой системы и улучшению водного обмена. Генотип растения определяет базовый уровень содер-

жания элементов питания и их соотношение. Подкормка, не меняя генетическую программу растения, оптимизирует условия реализации его потенциала, что подтверждает целесообразность ее использования для повышения качества кормов и продуктивности культуры.

Сбор сырого протеина и вынос питательных элементов урожаем определялся главным образом величиной урожая, поэтому максимальные значения этих показателей во все годы отмечены в варианте $P_{48}K_{48}$ (табл. 4), как с подкормкой, так и без нее, причем в вариантах с подкормкой эти величины оказались выше пропорционально повышению урожайности.

Таблица 4

Сбор протеина, ц/га, и вынос фосфора и калия урожаем клевера, кг/га
Protein yield, c/ha, and removal of phosphorus and potassium by clover crop, kg/ha

Вариант	2022 г.			2023 г.			2024 г.		
	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O	Сырой протеин	P_2O_5	K_2O
<i>Удобрения</i>									
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
<i>Удобрения + подкормка (1%-й раствор)</i>									
Контроль	12,2	52,5	136	5,7	24,0	61	9,6	41,2	114
P_{48}	24,4	85,3	271	8,3	29,4	86	14,3	56,2	175
K_{48}	21,4	90,2	249	5,8	23,0	64	12,5	50,4	146
$P_{48}K_{48}$	28,4	115,4	303	12,6	51,0	137	19,0	72,9	209
$P_{16}K_{16}$	17,9	71,8	200	7,3	28,4	84	10,1	39,7	123
$P_{32}K_{32}$	21,5	89,1	243	9,0	38,3	98	11,9	46,4	138
$P_{80}K_{32}$	22,4	93,0	281	14,0	52,5	158	14,3	55,7	156
$P_{32}K_{80}$	17,7	91,9	237	8,3	43,5	107	12,8	58,9	175

В среднем 1 т сена клевера Починковец содержала 12,7–12,9 ц сырого протеина; 4,8–5,3 кг P_2O_5 и 14,6–14,9 кг K_2O . 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 и некорневой подкормки растений проведен на основе сравнения дополнительных затрат

(приобретение, доставка, хранение, внесение удобрений, уборка, доработка и реализация дополнительного урожая) со стоимостью прибавки урожая.

Так как фосфорно-калийные удобрения были внесены под покровную культуру, в расчетах была использована та часть затрат, которая соответствует остаточному эффекту: для фосфорных удобрений – 10 % от их стоимости, калийных – 20 %. Затраты на внесение удобрений также были скор-

ректированы: они составили половину от полных затрат (полные затраты на внесение составляют примерно 30 % от стоимости удобрений).

Затраты на уборку дополнительного урожая приняты 1000 руб./га, на доработку, транспортировку и хранение клеверного сена – 1400 руб./т. Средняя стоимость 1 т сена – 3500 рублей. Цены на минеральные удобрения: двойной суперфосфат – 38000 руб./т, хлористый калий – 25000 руб./т, келик-K-Si – 2000 руб./л. Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Наибольшая экономическая эффективность достигнута в варианте $P_{48}K_{48}$: чистый

доход составил 8,44 тыс. руб./га, окупаемость дополнительных затрат стоимостью прибавки урожая – 1,69 руб./руб. Вариант $P_{16}K_{16}$ оказался убыточным ввиду низкой прибавки урожая. Некорневая подкормка растений сопровождалась ростом дополнительных затрат, которые в ряде случаев не покрывались стоимостью прибавки урожая (варианты K_{48} , $P_{16}K_{16}$ и $P_{32}K_{32}$). Наиболее экономически оправданной она оказалась при выращивании растений на фоне $P_{48}K_{48}$: чистый доход достиг 6,09 тыс. руб./га, окупаемость суммарных дополнительных затрат стоимостью прибавки урожая составила 1,32 руб./руб.

Таблица 5

Экономическая эффективность минеральных удобрений и некорневой подкормки при выращивании клевера лугового

Economic efficiency of mineral fertilizers and foliar feeding in the cultivation of red clover

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 стоимостью прибавки урожая, руб./руб.
<i>Без подкормки</i>					
P_{48}	2,6	7,26	9,1	1,84	1,25
K_{48}	2,2	5,34	7,7	2,36	1,44
$P_{48}K_{48}$	5,9	12,16	20,6	8,44	1,69
$P_{16}K_{16}$	0,9	3,69	3,1	-0,59	–
$P_{32}K_{32}$	2,1	6,39	7,3	0,91	1,14
$P_{80}K_{32}$	3,0	9,99	10,5	0,51	1,05
$P_{32}K_{80}$	3,0	8,63	10,5	1,87	1,22
<i>С подкормкой (1%-й раствор келик-K-Si)</i>					
P_{48}	3,7	12,46	12,95	0,49	1,04
K_{48}	2,6	10,54	9,10	–	–
$P_{48}K_{48}$	6,7	17,36	23,45	6,09	1,32
$P_{16}K_{16}$	1,5	8,89	5,25	–	–
$P_{32}K_{32}$	3,0	11,58	10,50	–	–
$P_{80}K_{32}$	4,8	15,19	16,80	1,61	1,05
$P_{32}K_{80}$	4,1	13,82	14,35	0,48	1,04

* – среднее за три года.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В силу способности клевера лугового обеспечивать себя азотом за счет работы клубеньковых бактерий основой организации минерального питания является использование фосфорно-калийных минеральных удобрений, которые обеспечивают не только питание растений фосфором

и калием, но и оптимизируют азотфиксирующую способность растений. По данным ряда авторов, это обеспечивает получение качественного корма с высоким содержанием обменной энергии [2, 3].

Установлено, что наряду с оптимизацией фосфорно-калийного питания растений существенно смягчить негативные последствия ставшего реальностью глобального потепления климата

может использование соединений кремния [6, 9, 14, 15, 17], которые могут быть доставлены в растения как через корень, так и через лист. Последний прием подтвержден на многих сельскохозяйственных культурах, но данных в отношении клевера лугового недостаточно.

Исследование фосфорно-калийного питания клевера лугового в условиях дерново-подзолистых почв Смоленской области подтвердило ключевую роль его оптимизации в повышении продуктивности культуры и качества урожая в разные по погодным условиям годы. Максимальный агрономический эффект получен в годы с избыточным увлажнением при использовании дозы $P_{48}K_{48}$ (урожайность 12,5–20,0 т/га) с получением качественного сена, соответствующего зоотехническим нормам по содержанию фосфора и калия. Несмотря на колебания урожайности, в среднем за три года она была экономически наиболее эффективной.

Некорневая подкормка растений 1%-м раствором препарата келик-K-Si привела к дополнительному росту урожайности на всех фонах минерального питания. Несмотря на рост затрат, связанных с ее проведением, в ряде случаев она была экономически оправдана.

Полученные данные оптимизации фосфорно-калийного и кремниевого питания клевера лугового могут быть использованы для повышения продуктивности культуры и минимизации экологических рисков. Некорневые подкормки

могут быть легко интегрированы в существующую систему агротехнических мероприятий.

ВЫВОДЫ

1. Максимальная урожайность сена (12,5–20,0 т/га) в годы с избыточным увлажнением достигнута при внесении фосфорно-калийных удобрений в дозе $P_{48}K_{48}$, что в 1,7–2,0 раза превысило контрольные показатели. В засушливых условиях (2023 г.) эффективность их была ниже, однако дозы $P_{80}K_{32}$ и $P_{32}K_{80}$ обеспечивали прибавку урожая к контролю на 27–40 %.

2. Содержание фосфора и калия в сене соответствовало зоотехническим требованиям. В среднем 1 т сена клевера Починковец содержала: 12,7–12,9 ц сырого протеина, 4,8–5,3 кг P_2O_5 и 14,6–14,9 кг K_2O . Эти величины можно принять за нормативы выноса при разработке сортовой агротехники на дерново-подзолистых почвах Смоленской области и для оценки кормовых достоинств сена.

3. Некорневая подкормка растений препаратом келик K-Si оправдала себя только в 1%-й концентрации. По совокупности показателей агрономической и экономической эффективности лучшими следует признать варианты $P_{48}K_{48}$ и $P_{48}K_{48}^+$ некорневая подкормка.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (тема № FGSS-2024-0004).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаврилова А.Ю., Конова А.М. Урожайность многолетних трав и плодородие дерново-подзолистой почвы при длительном внесении минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2 (54). – С. 71–77. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-71-77.
2. Налухин 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. – DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.05.
3. Влияние возрастающих доз азота на кормовую продуктивность многолетних трав / С.В. Иванова, О.В. Курдакова, А.М. Конова, А.Ю. Гаврилова // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 12. – С. 19–24. – DOI: 10.28983/asj.y2019i12pp19-24.
4. Абатуров Б.Д., Колесников М.П. Органический кремний в растениях как лимитирующий фактор переваримости кормов растительноядных млекопитающих // Успехи современной биологии. – 2023. – Т. 143, № 5. – С. 466–475. – DOI: 10.31857/S0042132423050034.
5. Новикова Н.Е., Самсонова Н.Е. Влияние кремнийсодержащих соединений на показатели водного гомеостаза и урожайность гороха // Цифровые технологии – основа современного развития АПК: мат-лы междунар. науч. конф. – Смоленск, 2020. – Т. 1. – С. 77–82.
6. Самсонова Н.Е. Кремний и устойчивость растений яровой пшеницы и кукурузы к водному стрессу на ранних этапах онтогенеза // Агрохимикаты в XXI веке: теория и практика применения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. – Н. Новгород, 2017. – С. 122–124.
7. Новикова Н.Е., Самсонова Н.Е. Влияние соединений кремния на процесс прорастания семян гороха и защиту проростков от окислительных повреждений // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 2 (83). – С. 21–28.

8. Устойчивость ярового ячменя к абиотическому стрессу в зависимости от уровня минерального питания и предобработки семян селеном и кремнием / Л.В. Осипова, И.В. Верниченко, Л.В. Ромодина [и др.] // *Агрохимия*. – 2019. – № 7. – С. 64–74. – DOI: 10.1134/S000218811907010X.
9. Шупинская И.А., Самсонова Н.Е. Влияние некорневой подкормки и высококремнистого цеолита на урожайность яровой пшеницы и компоненты антиоксидантной защиты // *Фундаментальные основы современных аграрных технологий и техники*: тр. Всерос. молодежной науч.-практ. конф. – Томск, 2015. – С. 174–177.
10. Гаврилова А.Ю., Конова А.М., Самсонова Н.Е. Эффективность минеральных удобрений и кремнийсодержащего препарата контролфит-си на льне-долгунце // *Достижения науки и техники АПК*. – 2023. – Т. 37, № 2. – С. 34–39. – DOI: 10.53859/02352451_2023_37_2_34.
11. Куликова А.Х., Карпов А.В., Черкасов М.С. Влияние цеолита и удобрений на его основе на урожайность кукурузы и баланс элементов питания в черноземе выщелоченном под ее посевами // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2023. – № 2 (62). – С. 69–75. – DOI: 10.18286/1816-4501-2023-2-69-75.
12. Лякина О.А., Самсонова Н.Е., Новикова Н.Е. Влияние фосфатов пониженной растворимости и кремния на продуктивность и химический состав сельскохозяйственных культур // *Вестник ОрелГАУ*. – 2010. – № 3 (24). – С. 12–16.
13. Конова А.М., Гаврилова А.Ю., Самсонова Н.Е. Эффективность некорневой подкормки льна-долгунца препаратом контролфит-Si на разных фонах минерального питания в условиях Центрального Нечерноземья // *Агрохимия*. – 2023. – № 12. – С. 75–84. – DOI: 10.31857/S0002188123120074.
14. Капранов В.Н. Влияние диатомита и минеральных удобрений на фенотипические признаки растений и урожайность зерновых культур // *Агрохимия*. – 2009. – № 7. – С. 34–43.
15. Modification of chemical properties of cell walls by silicon and its role in regulation of the cell wall extensibility in oat leaves / M.T. Hossain, K. Soga, K. Wakabayashi [et al.] // *J. Plant Phys.* – 2007. – Vol. 164, No. 4. – P. 385–393.
16. Balakhnina T., Borkowska A. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses // *Review Int. Agrophys.* – 2013. – Vol. 27. – P. 225–232.
17. Ma J.F., Yamaji N. Silicon uptake and accumulation in higher plants // *Trends Plant Sci.* – 2006. – No. 11 (8). – P. 392–397.
18. 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.
19. 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. – DOI: 10.31857/S2500208224050106.
20. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография / В.М. Косолапов, В.А. Чуйков, Х.К. Худякова [и др.]. – М., 2019. – 272 с.

REFERENCES

1. Gavrilova A.Yu., Konova A.M., *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii*, 2021, No. 2, pp. 71–77, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-71-77. (In Russ.)
2. Naliukhin A.S., Smirnova A.A., *Plodородie*, 2024, No. 4, pp. 23–26, DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.05. (In Russ.)
3. Ivanova S.V., Kurdakova O.V., Konova A.M., Gavrilova A.Yu., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2019, No. 12, pp. 19–24, DOI: 10.28983/asj.y2019i12pp19-24. (In Russ.)
4. Abaturov B.D., Kolesnikov M.P., *Uspekhi sovremennoj biologii*, 2023, No. 5, pp. 466–475, DOI: 10.31857/S0042132423050034. (In Russ.)
5. Novikova N.E., Samsonova N.E., *Cifrovye tekhnologii - osnova sovremennogo razvitiya APK* (Digital technologies are the basis for modern development of the agro-industrial complex), Proceedings of the Conference Title, 2020, pp. 77–82. (In Russ.)
6. Samsonova N.E., *Agrohimikaty v XXI veke: teoriya i praktika primeneniya* (Agrochemicals in the 21st Century: Theory and Application), Proceedings of the Conference Title, 2017, 122–124. (In Russ.)
7. Novikova N.E., Samsonova N.E., *Vestnik agrarnoj nauki*, 2020, No. 2, pp. 21–28. (In Russ.)
8. Osipova L.V., Vernichenko I.V., Romodina L.V. [et al.], *Agrohimiya*, 2019, No. 7, pp. 64–74, DOI: 10.1134/S000218811907010X. (In Russ.)
9. Shupinskaya I.A., Samsonova N.E., *Fundamental'nye osnovy sovremennyh agrarnykh tekhnologij i tekhniki* (Fundamentals of modern agricultural technologies and equipment), 2015, pp. 174–177. (In Russ.)
10. Gavrilova A.Yu., Konova A.M., Samsonova N.E., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2023, No. 2, pp. 34–39, DOI: 10.53859/02352451_2023_37_2_34. (In Russ.)

11. Kulikova A.Kh., Karpov A.V., Cherkasov M.S., *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skhoz'ajstvennoj akademii*, 2023, No. 2, pp. 69–75, DOI: 10.18286/1816-4501-2023-2-69-75. (In Russ.)
12. Lyakina O.A., Samsonova N.E., Novikova N.E., *Vestnik OrelGAU*, 2010, No. 3, pp. 12–16. (In Russ.).
13. Konova A.M., Gavrilova A.Yu., Samsonova N.E., *Agrohimiya*, 2023, No. 12, pp. 75–84, DOI: 10.31857/S0002188123120074. (In Russ.)
14. Kapranov V.N., *Agrohimiya*, 2009, No. 7, pp. 34–43. (In Russ.).
15. Hossain M.T., Soga K., Wakabayashi K. [et. al.], Silicon uptake and accumulation in higher plants, *J. Plant Phys*, 2007, No. 164 (4), pp. 385–393.
16. Balakhnina T., Borkowska A., Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses, *Review Int. Agrophys*, 2013, No. 27, pp. 225–232.
17. Ma J.F., Yamaji N., Silicon uptake and accumulation in higher plants, *Trends Plant Sci*, 2006, No. 11 (8), pp. 392–397.
18. Belotsvetova O.Yu., Shilnikov I.A., Kirpichnikov N.A., *Agrohimiya*, 2000, No. 5, pp. 41–46. (In Russ.).
19. Svirina V.A., Chernogaev V.G., *Vestnik rossijskoj sel'skhoz'ajstvennoj nauki*, 2024, No. 5, pp. 45–50, DOI: 10.31857/S2500208224050106. (In Russ.)
20. Kosolapov V.M., Chuikov V.A., Khudyakova Kh.K. [et al.], *Mineral'nye elementy v kormah i metody ih analiza* (Mineral elements in feed and methods of their analysis), Moscow, 2019, 272 p. (In Russ.).

Информация об авторах:

А.Ю. Гаврилова, кандидат биологических наук

А.М. Конова, кандидат сельскохозяйственных наук

Н.Е. Самсонова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Contribution of the authors:

A.Yu. Gavrilova, PhD in Biological Sciences

A.M. Konova, PhD in Agricultural Sciences

N.E. Samsonova, DSc in Agricultural Sciences, professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.