

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.425-434>

УДК 631.8:636.086.3

Влияние минеральных удобрений на продуктивность многолетних трав в длительном стационарном опыте

© 2024. А. Н. Прокина✉, С. В. Пугаев

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье представлены результаты исследований (1991–1994, 2005–2007 и 2015–2018 гг.), проведенных на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в условиях Республики Мордовия. Цель исследований – провести сравнительную оценку влияния минеральных удобрений на урожайность и качество укосной массы люцерны и костреца. Анализ многолетних результатов показал, что продуктивность люцерны на протяжении трех ротаций полевого севооборота была выше на 0,64, 1,05 и 0,15 т/га по сравнению с кострцом (5,73, 4,43 и 5,54 т/га). Внесение фосфорно-калийных (РК) удобрений под люцерну увеличивало сбор урожая в среднем на 18 % при окупаемости 1 кг д. в. удобрений 8 кг сена и дополнительным доходом 1,3 руб./руб. Использование под посевы костреца полного минерального удобрения с дозами азота N₃₀₋₉₀ увеличило урожайность культуры от 36 до 67 % по сравнению с РК-вариантом (4,15 т/га), дополнительный доход составил 1,15–1,29 руб./руб., окупаемость 1 кг д. в. азота – 32,7–45,5 кг сена. Анализ экспериментального материала показал, что в зеленой массе люцерны концентрация сырого протеина в 1,5 раза больше, чем костреца (12,89 %). Полное минеральное удобрение повышало содержание сырого протеина в зеленой массе костреца в отдельные годы от 8 до 28 %, у люцерны лишь на 2–3 % по сравнению с РК-вариантом. По сбору сырого протеина с единицы площади посевы люцерны (в среднем 1 133 кг/га) выгодно отличались от костреца (684 кг/га).

Ключевые слова: люцерна, кострец, урожайность, окупаемость удобрений, дополнительный доход, сырой протеин, сбор сырого протеина

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0100).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Прокина А. Н., Пугаев С. В. Влияние минеральных удобрений на продуктивность многолетних трав в длительном стационарном опыте. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(3):425–434.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.425-434>

Поступила: 11.04.2024

Принята к публикации: 29.05.2024

Опубликована онлайн: 26.06.2024

The effect of mineral fertilizers on the productivity of perennial grasses in a long-term stationary experiment

© 2024. Lyudmila N. Prokina✉, Sergey V. Pugaev

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article presents the results of studies (1991–1994, 2005–2007 and 2015–2018) conducted on leached heavy loam chernozem in the Republic of Mordovia. The purpose of the research is to conduct a comparative assessment of the effect of mineral fertilizers on the yield and quality of alfalfa and awnless brome. The analysis of long-term results showed that the productivity of alfalfa during three rotations of the field crop rotation was higher by 0.64, 1.05 and 0.15 t/ha compared with the awnless brome (5.73, 4.43 and 5.54 t/ha). The application of phosphorus-potassium (PK) fertilizers for alfalfa increased the harvest by an average of 18 %, with a payback of 1 kg a.i. of fertilizer with 8 kg of hay and an additional income of 1.3 rubles/rub. The use of a full mineral seed with doses of nitrogen N₃₀₋₉₀ for awnless brome increased crop yield from 36 to 67 % compared to the PK variant (4.15 t/ha), additional income amounted to 1.15–1.29 rubles / rub, payback of 1 kg of a.i. of nitrogen – 32.7–45.5 kg of hay. The analysis of the experimental material showed that the concentration of crude protein in the green mass of alfalfa was 1.5 times higher than in the awnless brome (12.89 %). Complete mineral fertilizer increased the crude protein content in the green mass of the awnless brome in some years from 8 to 28 %, in alfalfa only by 2–3 % compared with the PK variant. According to the collection of crude protein per unit area, alfalfa crops (on average 1,133 kg/ha) differed favorably from awnless brome (684 kg/ha).

Keywords: alfalfa, awnless brome, yield, payback of fertilizers, additional income, crude protein, collection of crude protein

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0100).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citations: Prokina L. N. Pugaev S. V. The effect of mineral fertilizers on the productivity of perennial grasses in a long-term stationary experiment. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(3):425–434. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.425-434>

Received: 11.04.2024

Accepted for publication: 29.05.2024

Published online: 26.06.2024

Многолетние травы во всех почвенно-климатических условиях и типах севооборотов имеют большое значение в получении высокобелковых, энергонасыщенных кормов, улучшают плодородие и обеспечивают последующие культуры севооборота доступными элементами питания, позволяющими без значительных затрат повышать продуктивность культур [1, 2]. В структуре посевных площадей и севооборотов они должны занимать не менее 25–40 % для обеспечения устойчивости сельскохозяйственных земель, плодородия почв и стабильности растениеводства. К основным факторам, обеспечивающим прирост урожайности сельскохозяйственных культур и повышение почвенного плодородия, относится научно обоснованное применение удобрений [3, 4], которое наиболее полно можно оценить в длительных полевых опытах. Так, на серо-каштановой почве внесение минеральных удобрений под люцерну в дозе $N_{90}P_{90}K_{60}$ увеличивало сбор зеленой массы люцерны с 16,4 до 45,8 т/га и сырого протеина на 1,75 % [5]. В условиях Самарского Заволжья при внесении сульфата аммония в дозах 120 и 150 кг/га урожайность зеленой массы люцерны за два укоса составила 53,6 и 53,5 т/га, что на 5,0 и 4,8 т/га больше, чем без удобрений. В вариантах с азотным серосодержащим удобрением марки N:S (26:13) в дозах 120 и 150 кг/га превышение контроля составило 14,7 и 12,6 т/га [6]. На черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом с низким содержанием гумуса экспериментально доказана важность внесения небольших стартовых доз азота (до 60 кг/га д. в.) для начального развития всходов люцерны и необходимость его применения на посевах второго и третьего годов жизни для интенсивного отрастания весной [7]. На черноземе выщелоченном Западного Предкавказья внесение $N_{20}P_{20}K_{20}$ обеспечивает высокую урожайность (34,75 т/га зеленой массы в среднем за 3 укоса) люцерны второго года с хорошим

качеством (протеин 22,6 %). Дальнейшее увеличение доз удобрений не приводит к улучшению заявленных показателей, а значит сопровождается снижением окупаемости урожаем [8]. В условиях среднетаежной подзоны Якутии внесение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ способствует сохранению костреца безостого до 63 % [9].

Данные по урожайности многолетних трав на черноземах выщелоченных в условиях Мордовии получены [10, 11], но сравнительную оценку различных видов трав по урожайности зеленой массы и ее качеству при одинаковых условиях возделывания и длительном внесении минеральных удобрений не проводили, что и послужило необходимостью изучения этого вопроса.

Цель исследований – провести сравнительную оценку влияния минеральных удобрений на урожайность и качество зеленой массы люцерны и костреца, возделываемых в условиях Республики Мордовия.

Научная новизна – показана зависимость урожайности и качества укосной массы люцерны и костреца от внесения минеральных удобрений на протяжении трех ротаций полевого севооборота.

Материал и методы. Работа выполнена в Мордовском НИИ сельского хозяйства – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в соответствии с планом НИР учреждения на базе стационарного полевого опыта, заложенного в 1972–1973 гг. последовательно в двух полях по методике Б. А. Доспехова¹.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый. Содержание физической глины в пахотном слое 58,5 %. Мощность гумусового горизонта 50–60 см. Пахотный слой сильно выпахан и распылен, имеет пылеватую и комковато-глыбистую структуру. Агрохимическая характеристика почвы представлена в таблице 1. Анализ почвы выполняли

¹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.

методами: $pH_{\text{кол}}$ – ионометрическим (ГОСТ 26483 – 85)², гидролитическая кислотность – по Каппену в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212–91)³, сумма поглощенных оснований – по Каппену (ГОСТ 27821–88)⁴. Подвижный

фосфор и калий определяли по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207–91)⁵ колориметрическим методом, содержание гумуса – по Тюрину (ГОСТ 26213–91)⁶.

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы /
Table 1 – Agrochemical characteristics of the arable soil layer

Годы / Years	Гумус, % / Humus, %	$pH_{\text{кол}}$	Hr	S	$V, \%$	Подвижные формы, мг/кг / Mobile forms mg/kg	
			мг-экв/100 г / mg-eq/100 g			P_2O_5	K_2O
1972-1973 гг. – перед закладкой опытов / Before laying the experiment	8,70	5,4	6,5	33,6	84	65	119
2002 г. – IV ротация / IV Rotation	8,83	4,9	8,3	31,6	79	70	123
2013 г. – V ротация / V Rotation	9,03	4,8	-	-	-	122	156

Расположение вариантов в опыте рендомизированное, повторность трехкратная. Посевная площадь делянки 75 м² (7,5×10 м), учетная – 50 м² (5×10 м).

Минеральные удобрения вносили в соответствии со схемой опыта: фосфорно-калийные – в форме двойного суперфосфата и хлористого калия под травы – вручную под основную обработку почвы в запас на годы пользования, азотные удобрения в форме аммиачной селитры – ежегодно. Учет урожая многолетних трав проводили путем скашивания вручную на учетных площадках с последующим взвешиванием зеленой массы: первый укос люцерны – в период «бутонизация–начало цветения», костреца – «выметывание–начало цветения»; второй укос – по мере формирования укосной массы. Урожайные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа⁷. Технология возделывания многолетних трав – традиционная для

зоны проведения исследований, кроме изучаемых факторов⁸.

В опыте изучали пять вариантов удобрённости (табл. 2): 1. Без удобрений с 1972 года (контроль). 2. Фосфорно-калийные удобрения (РК – фон). 3. Фон + N₁. 4. Фон + N₂. 5. Фон + N₃.

В опытах использовали семена районированных сортов люцерны изменчивой Вега-87 и Находка, костреца безостого – Пензенский 1. В первых двух ротациях травы высевали под покров ячменя и яровой пшеницы с нормой высева люцерны сорта Вега-87 – 13 кг/га, костреца – 25 кг/га. Покровную культуру убирали на зерно в фазе «полная спелость» зерна прямым комбайнированием. В 2015 г. 15 июля был проведен беспокровный посев многолетних трав (сорт люцерны Находка) и костреца сеялкой СЗТ–3.6 с последующим прикатыванием. Норма высева люцерны – 15 кг/га, костреца – 25 кг/га.

²ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: изд-во стандартов, 1985. 4 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

³ГОСТ 26212-91. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. М.: изд-во стандартов, 1992. 7 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/33a/4294828268.pdf>

⁴ГОСТ 27821-91. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. М.: изд-во стандартов, 1988. 7 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/3a6/4294826916.pdf>

⁵ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: изд-во стандартов, 1992. 7 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/c43/4294828273.pdf>

⁶ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: изд-во стандартов, 1992. 8 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

⁷Доспехов Б. А. Указ. соч.

⁸Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовии: методическое руководство. Под ред. А. М. Гурьянова. Саранск: изд-во Мордовского ун-та, 2003. 428 с.

Таблица 2 – Распределение удобрений в опыте по ротациям севооборота, кг/га д. в. /
Table 2 – Distribution of fertilizers in the experiment by rotations of crop rotation kg/ha a. i.

Годы, ротация / Years (rotation)	Вариант / Variant				
Люцерна / Alfalfa					
1991–1994 гг. (III ротация) / 1991–1994 (III rotation)	Без удобрений / Without fertilizers	P ₄₈ K ₆₈	N ₁₅ P ₄₈ K ₆₈	N ₃₀ P ₄₈ K ₆₈	N ₄₅ P ₄₈ K ₆₈
2005–2007 гг. (IV ротация) / 2005–2007 (IV rotation)	Без удобрений / Without fertilizers	P ₅₀ K ₈₀	N ₁₅ P ₅₀ K ₈₀	N ₃₀ P ₅₀ K ₈₀	N ₄₅ P ₅₀ K ₈₀
2015–2018 гг. (V ротация) / 2015–2018 (V rotation)	Без удобрений / Without fertilizers	P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₅₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀
Кострец / Awnless brome					
1991–1994 гг. (III ротация) / 1991–1994 (III rotation)	Без удобрений / Without fertilizers	P ₄₈ K ₆₈	N ₃₀ P ₄₈ K ₆₈	N ₆₀ P ₄₈ K ₆₈	N ₉₀ P ₄₈ K ₆₈ .
2005–2007 гг. (IV ротация) / 2005–2007 (IV rotation)	Без удобрений / Without fertilizers	P ₅₀ K ₈₀	N ₃₀ P ₅₀ K ₈₀	N ₆₀ P ₅₀ K ₈₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₈₀ .
2015–2018 гг. (V ротация) / 2015–2018 (V rotation)	Без удобрений / Without fertilizers	P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀

Результаты и их обсуждение. Влагообеспеченность возделываемых культур в мае–августе 2005 и 2017 гг. (2 года, или 18 % общего количества лет наблюдений) находилась в пределах нормы, 1994 г. – переувлажненный (9 %), 1991, 1992, 1993, 2006, 2007, 2015, 2016 гг. – недостаточно увлажненные (7 лет, или 64 %), 2018 г. – сильно засушливый (9 %) (табл. 3).

В 1991 г. период формирования урожая первого укоса многолетних трав характери-

зовался как нормальный по условиям тепло- и влагообеспеченности (ГТК = 1,0...1,1), в 1992 и 1993 гг. – засушливые (ГТК = 0,8 и 0,3), 1994 г. – средней степени переувлажнения (ГТК = 1,4...2,0). Формирование урожая второго укоса трав в 1991 и 1992 гг. проходило в условиях недостаточного влагообеспечения (ГТК = 0,7 и 0,9), в 1993 и 1994 гг. – в условиях средней степени переувлажнения (ГТК = 1,4 и 2,0).

Таблица 3 – Метеорологические условия в годы проведения исследований /
Table 3 – Weather conditions in the years of research

<i>Год /</i> <i>Year</i>	<i>Количество осадков, мм /</i> <i>Amount of precipitation, mm</i>		<i>Температурный режим, °C /</i> <i>Temperature regime, °C</i>		<i>ГТК за вегета- цию май–август /</i> <i>HTC for vegeta- tion May–August</i>
	<i>за год /</i> <i>for the year</i>	<i>за вегетацию май–август /</i> <i>for the growing season</i> <i>May–August</i>	<i>среднесуточная</i> <i>за вегетацию / average</i> <i>daily for the growing season</i>	<i>сумма t>10 ° /</i> <i>the amount</i> <i>t>10°</i>	
1991	483	194	17,7	2228	0,77
1992	426	165	16,1	1936	0,66
1993	507	251	15,8	1847	0,82
1994	471	245	14,7	1699	1,68
2005	391	172	17,3	2186	0,96
2006	446	195	16,8	2099	0,78
2007	407	125	18,1	2216	0,65
2015	401	140	17,7	2450	0,68
2016	466	148	18,7	2417	0,68
2017	538	239	16,2	1928	1,19
2018	286	82	18,4	2234	0,45

Из последующих трех лет возделывания многолетних трав только в 2005 г. урожай первого укоса формировался в нормальных условиях (ГТК = 1,45), в 2006 и 2007 гг. – в условиях дефицита влаги (ГТК = 0,64 и 0,17). Зеленая масса второго укоса развивалась в засушливых условиях 2005 и 2007 гг. (ГТК = 0,63 и 0,84) и нормальных по увлажнению в 2006 г. (ГТК = 1,35).

Рост и развитие многолетних трав в 2015 г. (посев 15.07.2015) проходили не в очень благоприятных метеорологических условиях. Во второй декаде июля количество выпавших осадков составило 28 мм, или 43 % от нормы (ГТК = 1,7). Сумма эффективных температур (выше 10 °С) составила 2 450 °С (климатическая норма 1 904 °С). Если перед посевом и после были осадки, что положительно сказалось на всхожести трав, то потом их количество снизилось и в сентябре практически дождей

не было. За вегетацию трав выпало всего 76 мм осадков (ГТК = 0,62). Период кущения костреца и ветвления люцерны проходил в условиях дефицита влаги (ГТК = 0,0). Стояла теплая погода (в пределах нормы) и практически не было осадков. Во второй декаде сентября наблюдали теплую сухую погоду с температурой выше нормы на 2 градуса.

В 2016 и 2018 гг. формирование урожая обоих укосов проходило в условиях дефицита влаги (ГТК = 0,77 и 0,65; 0,52 и 0,48 соответственно). В 2017 г. во время обоих укосов сложились нормальные условия (ГТК = 1,12 и 1,1).

Таким образом, метеорологические условия в годы проведения исследований были различными, но типичными для зоны.

Как показали результаты исследований, продуктивность многолетних трав различалась как по годам, так и при использовании минеральных удобрений (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние минеральных удобрений на урожайность многолетних трав, т/га сухого вещества /
Table 4 – The effect of mineral fertilizers on the yield of perennial grasses, t/ha of dry matter

Вариант / Variant	Годы исследований / Years of research		
	1991–1994 гг. (III ротация) / 1991–1994 (III rotation)	2005–2007 гг. (IV ротация) / 2005–2007 (IV rotation)	2015–2018 гг. (V ротация) / 2015–2018 (V rotation)
Люцерна / Alfalfa			
Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	5,27	4,74	4,64
РК	6,52	5,42	5,32
N ₁ РК	6,71	5,74	5,93
N ₂ РК	6,74	5,72	6,32
N ₃ РК	6,63	5,77	6,23
Кострец / Awnless brome			
Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	3,15	3,02	3,18
РК	4,46	3,68	4,30
N ₁ РК	6,36	4,63	5,97
N ₂ РК	7,10	5,20	6,63
N ₃ РК	7,58	5,63	7,62
НСР ₀₅ ч. р. / LSD ₀₅ ch. r.	0,15	0,18	0,13
НСР ₀₅ (А) / LSD ₀₅ (А)	0,07	0,08	0,06
НСР ₀₅ (В) / LSD ₀₅ (В)	0,11	0,12	0,09
НСР ₀₅ (АВ) / LSD ₀₅ (АВ)	0,11	0,12	0,09

Во все годы исследований урожайность люцерны (5,27, 4,74 и 4,64 т/га) была выше, чем у костреца соответственно на 2,12, 1,72 и 1,46 т/га сухого вещества. В вариантах без внесения азотных удобрений (контроль, РК) люцерна по сбору сухого вещества превышала кострец на 67–57–46 % и 46–48–24 % соответственно от III к V ротации. В контрольном варианте

максимальную урожайность 5,27 т/га сена люцерна обеспечивала в III ротации, что на 0,53 и 0,63 т/га больше, чем в двух последующих. Под действием фосфорно-калийных удобрений сбор сена люцерны увеличивался на 1,25, 0,69 и 0,68 т/га, или на 24, 15 и 15 % по сравнению с соответствующими вариантами без удобрений. Внесение полного минерального удобрения

в 1991–1994 гг. способствовало дополнительному получению сена в среднем – 0,17 т/га, в 2005–2007 гг. – 0,31 т/га и в 2015–2018 гг. – 0,84 т/га сена по сравнению с РК-вариантом. Наиболее эффективное действие полного минерального удобрения (собрано в среднем 6,69 т/га сухого вещества) отмечено в 1991–1994 гг. и это больше на 0,95 т/га, чем в 2005–2008 гг. и на 0,53 т/га, чем в 2015–2018 гг. При внесении более высоких доз азота (N_3) в основном отмечено или снижение (III и V ротации), или незначительная прибавка (IV ротация) урожайности культуры. При сравнении двух сортов люцерны можно отметить, что сорт Находка более отзывчив на внесение полного минерального удобрения (прибавка от 0,61 до 1,0 т/га сена) против 0,11–0,34 т/га у сорта Вега-87.

В варианте без удобрений урожайность костреца распределилась следующим образом: $3,18 > 3,15 > 3,02$ т/га сухого вещества соответственно в V, III и IV ротациях. Внесение фосфорно-калийных удобрений обеспечивало прибавку к контролю в среднем за ротацию – 1,31; 0,66; 1,12 т/га. Наибольший сбор сухого вещества в варианте с фосфорно-калийными

удобрениями получили в 1991–1994 гг. – 4,46 т/га, что больше на 0,78 и 0,16 т/га сена, чем в 2005–2007 гг. и 2015–2018 гг. Исследованиями установлена высокая агрономическая эффективность использования минерального азота при возделывании костреца. Так, при внесении азота в составе полного минерального удобрения прибавка к варианту с фосфорно-калийным удобрением составила от дозы N_1 – 1,90, 0,94, 1,67 т/га сухого вещества, или 43, 59, 70 %; N_2 – 2,64, 1,52, 2,33, или 26, 41, 53 %; N_3 – 3,12, 1,95, 3,33 т/га, или 39, 54, 77 %. Максимальный сбор сена костреца был в V ротации в варианте N_3PK и составил 7,63 т/га, несколько ему уступал аналогичный вариант (меньше на 0,05 т/га) в III ротации. Наиболее эффективно полное минеральное удобрение сработало в III и V ротациях – урожайность сена получена на уровне 6,36...7,58 т/га и 5,97...7,63 т/га соответственно, в IV ротации – 4,62...5,63 т/га.

При возделывании люцерны в первых двух ротациях окупаемость 1 кг д. в. азота по мере увеличения его дозы в составе полного минерального удобрения уменьшалась и составила 12,7–7,3–2,4 и 20,7–9,7–7,6 кг сена (табл. 5).

Таблица 5 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании люцерны /

Table 5 – Payback of mineral fertilizers by alfalfa cultivation

Вариант / Variant	Урожайность в контроле и прибавка от внесения, т/га сухого в-ва / Yield under control and increase, t/ha of dry matter		Окупаемость 1 кг д. в. удобрений / Payback of 1 kg a. i. of fertilizers	
	PK	N	дополнительным коли- чеством сена, кг / addi- tional amount of grain, kg	дополнительным дохо- дом, руб/руб. / additional income, rub/rub.
1991–1994 гг.				
Без удобрений / Without fertilizers	5,27	-	-	-
$P_{48}K_{68}$	1,25	-	10,8	1,46
$N_{15}P_{48}K_{68}$	-	0,19	12,7	1,45
$N_{30}P_{48}K_{68}$	-	0,22	7,3	1,40
$N_{45}P_{48}K_{68}$	-	0,11	2,4	1,33
2005–2007 гг.				
Без удобрений / Without fertilizers	4,74	-	-	-
$P_{50}K_{80}$	0,69	-	5,3	1,26
$N_{15}P_{50}K_{80}$	-	0,31	20,7	1,26
$N_{30}P_{50}K_{80}$	-	0,29	9,7	1,21
$N_{45}P_{50}K_{80}$	-	0,34	7,6	1,18
2015–2018 гг.				
Без удобрений / Without fertilizers	4,64	-	-	-
$P_{40}K_{40}$	0,68	-	8,5	1,18
$N_{40}P_{40}K_{40}$	-	0,61	15,2	1,14
$N_{50}P_{40}K_{40}$	-	1,00	20,0	1,19
$N_{60}P_{40}K_{40}$	-	0,91	15,2	1,15

Аналогичную ситуацию наблюдали с дополнительным доходом 1,45–1,40–1,33 и 1,26–1,21–1,18 руб/руб. Окупаемость РК-варианта несколько уступала варианту с полным минеральным удобрением с дозой N₁ на 1,9, 15,4 и 6,7 кг сена, но дополнительный доход был или на уровне, или чуть ниже. В последней ротации в варианте с полным минеральным удобрением при промежуточной дозе азота (50 кг д. в.) отмечено увеличение окупаемости 1 кг д. в. азота сеном на 4,8 кг и дополнительного дохода (0,04 руб/руб.) по сравнению с вариантом N₁PK и N₃PK (15,2 кг сена и 1,14–1,15 руб/руб.). Окупаемость 1 кг д. в. азота в составе полного минерального удобрения при возделывании злаковой культуры по ротациям составила в

среднем 47,3, 26,1 и 40,7 кг сена (табл. 6). Величина данного показателя снижалась по мере увеличения дозы азота в первых двух ротациях (от 63,3 до 34,7 и от 31,3 до 21,7 кг сена на 1 кг д. в. азота). Исключением была V ротация, где вариант с N₂PK (38,8 кг сена на 1 кг д. в. азота) уступал вариантам с дозой N₁ и N₃, у которых была практически одинаковая окупаемость 41,8 и 41,6 кг сена. Дополнительный доход во всех трех ротациях от фосфорно-калийного удобрения составил 1,0 руб/руб. и ниже до 0,85 руб/руб., что свидетельствует о нецелесообразности его использования под костреч. Внесение полного минерального удобрения по мере увеличения дозы азота способствовало росту дополнительного дохода от 0,97 до 1,42 руб/руб.

Таблица 6 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании костреча /

Table 6 – Payback of mineral fertilizers when cultivating awnless brome

Вариант / Variant	Урожайность в контроле и прибавка от внесения, т/га сухого в-ва / Yield under control and increase, t/ha of dry matter		Окупаемость 1 кг д. в. удобрений / Payback of 1 kg a. i. of fertilizers	
	PK	N	дополнительным коли- чеством сена, кг / addi- tional amount of grain, kg	дополнительным дохо- дом, руб/руб. / additional income, rub/rub.
1991–1994 гг.				
Без удобрений / Without fertilizers	3,15	-	-	-
P ₄₈ K ₆₈	0,31	-	2,7	1,00
N ₃₀ P ₄₈ K ₆₈	-	1,90	63,3	1,32
N ₆₀ P ₄₈ K ₆₈	-	2,64	44,0	1,38
N ₉₀ P ₄₈ K ₆₈	-	3,12	34,7	1,42
2005–2007 гг.				
Без удобрений / Without fertilizers	3,02	-	-	-
P ₅₀ K ₈₀	0,66	-	5,1	0,85
N ₃₀ P ₅₀ K ₈₀	-	0,94	31,3	0,97
N ₆₀ P ₅₀ K ₈₀	-	1,52	25,3	1,09
N ₉₀ P ₅₀ K ₈₀	-	1,95	21,7	1,07
2015–2018 гг.				
Без удобрений / Without fertilizers	3,18	-	-	-
P ₄₀ K ₄₀	1,12	-	14,0	0,95
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	-	1,67	41,8	1,15
N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀	-	2,33	38,8	1,23
N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀	-	3,33	41,6	1,37

Таким образом, результаты многолетних исследований показали, что на черноземе выщелоченном урожайность люцерны была выше на 0,64, 1,05 и 0,15 т/га по сравнению с костречом (5,73, 4,43 и 5,54 т/га). Под люцерну целесообразно внесение фосфорно-калийных удобрений, что увеличивает сбор урожая на

18 % (в среднем), под костреч полное минеральное с дозой азота N₃₀₋₉₀, при этом урожай последнего увеличивается на 1,5–2,8 т/га сухого вещества по сравнению с РК-вариантом.

В сочетании с высокой урожайностью люцерны обладает еще и высокой кормовой продуктивностью. Она обеспечивает самый

высокий сбор белка с единицы площади от 1,5 до 2,0 т/га, что в 3,5 раза больше, чем зерновые культуры [12]. Оценка белковой продуктивности показала преимущество люцерны, где

количество сырого протеина за период исследований в среднем по вариантам (19,19...19,62 %) было значительно выше в сравнении с кострцом (12,22...14,01 %) (табл. 7).

Таблица 7 – Влияние минеральных удобрений на качество урожая многолетних трав /
Table 7 – The effect of mineral fertilizers on the quality of the harvest of perennial grasses

Вариант / Variant	Люцерна / Alfalfa		Кострец / Awnless brome	
	сырой протеин, % на абс. сухое в-во / crude protein, % on a completely dry substance	сбор сырого протеина, кг/га / collection of crude protein, kg/ha	сырой протеин, % на абс. сухое в-во / crude protein, % on a completely dry substance	сбор сырого протеина, кг/га / collection of crude protein, kg/ha
1991–1994 гг.				
Без удобрений / Without fertilizers	18,88	995	10,81	340
P ₄₈ K ₆₈	18,88	1231	10,94	488
N _{15–30} P ₄₈ K ₆₈	19,38	1300	12,56	799
N _{30–60} P ₄₈ K ₆₈	19,31	1301	13,19	936
N _{45–90} P ₄₈ K ₆₈	19,50	1293	13,62	1032
2005–2007 гг.				
Без удобрений / Without fertilizers	19,75	936	13,44	406
P ₅₀ K ₈₀	19,19	1042	13,31	490
N _{15–30} P ₅₀ K ₈₀	19,88	1141	14,18	655
N _{30–60} P ₅₀ K ₈₀	19,38	1108	14,38	748
N _{45–90} P ₅₀ K ₈₀	19,88	1147	14,75	830
2015–2018 гг.				
Без удобрений / Without fertilizers	19,12	887	10,69	340
P ₄₀ K ₄₀	19,06	1014	10,56	454
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	19,56	1160	13,06	780
N _{50–60} P ₄₀ K ₄₀	19,25	1217	13,56	899
N _{60–80} P ₄₀ K ₄₀	19,62	1222	13,88	1059

Применение минеральных удобрений, в том числе азотных, оказало определенное влияние на концентрацию сырого протеина в урожае люцерны (прибавки по сравнению с соответствующими фосфорно-калийными вариантами по ротациям 0,50–0,62; 0,19–0,69 и 0,19–0,56 %). Содержание сырого протеина в растениях кострца довольно сильно зависело от дозы азотной подкормки на фоне фосфорно-калийного удобрения. Так, при использовании фосфорно-калийных удобрений, содержание сырого протеина в урожае кострца (10,94; 13,31; 10,56 %) было в основном несколько ниже по сравнению с вариантом без удобрений (10,81; 13,44; 10,69 %), то при внесении азота в количестве N₁ на фоне фосфорно-калийного удобрения концентрация сырого протеина повышалась до 12,56; 14,18; 13,06 %. Прибавки от последующих доз N₂ и N₃ составили

соответственно 2,25; 1,07; 3,00 и 2,68; 2,22; 3,32 % по сравнению с РК-вариантом.

Анализ экспериментального материала показал, что в зеленой массе люцерны концентрация сырого протеина в 1,5 раза больше, чем кострца (12,89 %). Полное минеральное удобрение по сравнению с РК-вариантом повышало содержание сырого протеина в зеленой массе кострца в отдельные годы от 8 до 28 %, у люцерны лишь на 2–3 %.

Важным показателем продуктивности многолетних трав является сбор растительного белка с единицы площади. Данный показатель зависит как от количества сырого протеина, так и урожайности культур.

По сбору сырого протеина с единицы площади посевы люцерны (в среднем 1 133 кг/га) выгодно отличаются от кострца (684 кг/га) (табл. 7). Применение одних фосфорно-калийных

удобрений и полного минерального удобрения с низкой дозой азота (N_1) способствовало увеличению сбора сырого протеина на 236, 106, 127 и 305, 205, 273 кг/га по сравнению с соответствующими вариантами без удобрений. Увеличение дозы азота не всегда приводило к повышению этого показателя.

Сбор сырого протеина урожаем костреца в среднем за годы исследований составил 684 кг/га (по ротациям 719, 626 и 706 кг/га). В варианте без применения удобрений сбор сырого протеина урожаем костреца в среднем составил 362 кг/га. Внесение фосфорно-калийных удобрений способствовало увеличению данного показателя до 477 кг/га (прирост 32 %). На повышение сбора сырого протеина у костреца значительно повлияло применение полного минерального удобрения с различными дозами азота. Так, использование азота в дозе (N_1) кг/га действующего вещества в составе NPK увеличило сбор сырого протеина на 459, 249 и 326 кг/га, применение N_2 – на 596, 342 и 459 кг/га и N_3 – на 650, 424 и 719 кг/га соответственно от III к V ротации севооборота по сравнению с контрольными вариантами.

Закключение. В условиях Республики Мордовия использование минеральных удобрений в посевах многолетних трав предусматривает возделывание люцерны на черноземе выщелоченном с внесением фосфорно-калийных удобрений, что обеспечивает повышение урожайности на 0,68–1,25 т/га сухого вещества при окупаемости 1 кг д. в. удобрения сеном – 5,3–10,8 кг и дополнительным доходом 1,18–1,46 руб/руб.

При возделывании костреца внесение полного минерального удобрения с дозой N_{30-90} обеспечивает повышение продуктивности на 1,5–2,8 т/га сухого вещества, в 3,7 раза окупаемости 1 кг д. в. минеральных удобрений по сравнению с РК-вариантом и дополнительным доходом от 1,15 до 1,29 руб/руб. Полное минеральное удобрение увеличивало содержание сырого протеина в зеленой массе костреца в отдельные годы от 8 до 28 %, у люцерны на 2–3 % по сравнению с РК-вариантом. Внесение фосфорно-калийных удобрений и полного минерального способствовало росту сбора сырого протеина у люцерны на 11–24 и 18–38 %, костреца – на 21–44 и 61–211 %.

Список литературы

1. Дронова Т. Н., Бурцева Н. И., Молоконцева Е. И. Научные результаты исследований по многолетним травам. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2017;(3(47)): 46–56. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30021419> EDN: ZGYXVP
2. Ekschmitt K., Vetter S., Liu M., Fox O., Wolters V. Strategies used by soil biota to overcome soil organic matter stability-Why is dead organic matter left over in the soil? Geoderma. 2005;128(1-2):167–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.024>
3. Иванов И. С., Шатский И. М., Горшков А. В., Лабинская Р. М., Сапрыкина Н. В., Острикова М. Г. Итоги и перспективы работы Воронежской опытной станции по многолетним травам в области селекции, семеноводства и кормопроизводства. Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сб. научн. тр. М.: Угрешская типография, 2016. Вып.10 (58). С. 47–55.
4. Мерзлая Г. Е., Понкратенкова И. В. Эффективность органоминеральных систем удобрения. Плодородие. 2016;2(89):25–27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26194620> EDN: WBFQJL
5. Халилов С. А. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зеленой массы люцерны. Аграрная наука. 2019;(6):52–54. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-329-6-52-54> EDN: HXDOKA
6. Казарина А. В., Марункова Л. К. Влияние режима питания на продуктивность люцерны в условиях Самарского Заволжья. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017;(12):101–105. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32305943> EDN: YMGQSK
7. Горковенко Л. Г., Бедило Н. А., Ригер А. Н., Осечкий С. И. К вопросу о целесообразности удобрения азотом фуражных посевов люцерны на Кубани. Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2015;4(2):48–53. Режим доступа: <https://elibrary.ru/unqauf> EDN: UNQAUF
8. Чухиль А. А., Сафонова Т. Г. Потребление растениями люцерны элементов минерального питания при внесении макроудобрений. Научный журнал КубГАУ. 2016;(118):723–735. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25983937> EDN: VWPTTX
9. Барашкова Н. В., Неустроева Е. Р., Устинова В. В., Слепцова Н. А. Влияние стимуляторов роста на видовой состав и урожайность люцерно-кострецовой травосмеси в условиях среднетаежной подзоны Якутии. Вестник КрасГАУ. 2019;(10):41–48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41267455> EDN: SQFDBJ
10. Прокина Л. Н. Влияние средств химизации на кормовую продуктивность люцерны и костреца в полевом севообороте. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(5):21–27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30008770> EDN: ZGRSSP
11. Новый прием комплексного использования минеральных удобрений и жидкого минерального удобрения Форсаж (микро) в посевах многолетних трав. Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции: мат-лы XIV Междунар. научно-практ. конф. Саранск: изд-во Национального исследовательского Мордовского ГУ им. Н. П. Огарева, 2020. С. 335–339. Режим доступа: https://mrsu.ru/upload/iblock/3a6/2020_16-Lapshinskije-chteniya_ISBN.pdf

12. Петрина О. В., Овсянников Ю. А. Обоснование необходимости изучения новых видов люцерны, пригодных для выращивания в условиях Среднего Урала. Вестник биотехнологии. 2021;(4(29)):5.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48089054> EDN: EXPGUP

References

1. Dronova T. N., Burtseva N. I., Molokontseva E. I. The results of work with perennial grasses. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie*. 2017;(3(47)):46–56. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30021419>
2. Ekschmitt K., Vetter S., Liu M., Fox O., Wolters V. Strategies used by soil biota to overcome soil organic matter stability-Why is dead organic matter left over in the soil? *Geoderma*. 2005;128(1-2):167–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.024>
3. Ivanov I. S., Shatskiy I. M., Gorshkov A. V., Labinskaya R. M., Saprykina N. V., Ostrikova M. G. The results and prospects of the Voronezh experimental station for perennial herbs in the field of breeding, seed production and feed production. Multifunctional adaptive feed production: collection of scientific articles. Moscow: *Ugreshskaya tipografiya*, 2016. Iss.10 (58). pp. 47–55.
4. Merzlaya G. E., Ponkratenkova I. V. Efficiency of organomineral fertilizing systems. *Plodorodie*. 2016;2(89):25–27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26194620>
5. Khalilov S. A. Influence of mineral fertilizers on yield and quality of green mass of alfalfa. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2019;(6):52–54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-329-6-52-54>
6. Kazarina A. V., Marunkova L. K. The effect of diet on productivity of alfalfa in the conditions of Samara Trans-Volga region. *Mezhduna-rodnnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk = International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2017;(12):101–105. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32305943>
7. Gorkovenko L. G., Bedilo N. A., Riger A. N., Osetskii S. I. To the problem of feasibility of nitrogen fertilizer for forage alfalfa in Kuban. *Sbornik nauchnykh trudov Krasnodarskogo nauchnogo tsentra po zootekhnii i veterinarii*. 2015;4(2):48–53. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/unqauf>
8. Chukhil A. A., Safonova T. G. Consumption of elements of mineral nutrients by alfalfa plants when using fertilizers. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2016;(118):723–735. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25983937>
9. Barashkova N. V., Neustroeva E. R., Ustinova V. V., Sleptsova N. A. The influence of growth stimulator on specific structure and productivity of alfalfa and awnless brome grass mix in the conditions of middle-taiga subzone of Yakutia. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2019;(10):41–48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41267455>
10. Prokina L. N. Influence of chemistry means on fodder productivity of alfalfa and brome grasses in field crop rotation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(5):21–27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30008770>
11. A new method of complex use of mineral fertilizers and liquid mineral fertilizer Forsahz (micro) in crops of multi-year grasses. Resource-saving environmentally safe technologies for the production and processing of agricultural products: Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference. Saransk: *izd-vo Natsional'nogo issledovatel'skogo Mordovskogo GU im. N. P. Ogareva*, 2020. pp. 335–339. URL: https://mrsu.ru/upload/iblock/3a6/2020_16-Lapshinskie-chteniya_ISBN.pdf
12. Petrina O. V., Ovsyannikov Yu. A. Substantiation of the need to study new alfalfa species suitable for cultivation in the conditions of the Middle Urals. *Vestnik biotekhnologii = Bulletin of biotechnology*. 2021;(4(29)):5. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48089054>

Сведения об авторах

✉ **Прокина Людмила Николаевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии, Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудниченко», д. 5, ул. Мичурина, р. п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0376-7031>

Пугов Сергей Васильевич, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии, Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудниченко», д. 5, ул. Мичурина, р. п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8421-2913>

Information about the authors

✉ **Lyudmila N. Prokina**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Head of the Laboratory of Agricultural Chemistry, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 5, Michurin str., Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0376-7031>

Sergey V. Pugov, PhD in Biology, senior researcher, the Laboratory of Agricultural Chemistry, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 5, Michurin str., Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8421-2913>

✉ – Для контактов / Corresponding author