

АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЮЦЕРНО-ЗЛАКОВЫХ СЕНОКОСОВ В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ

А. А. Кутузова, доктор сельскохозяйственных наук
Е. Е. Проворная, кандидат сельскохозяйственных наук
Г. В. Степанова, кандидат сельскохозяйственных наук

ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»
г. Лобня Московской области, Россия, vik_lugovod@bk.ru

DOI: <https://doi.org/10.33814/МАК-2021-26-74-9-17>

*На основе полевого опыта установлена высокая агроэнергетическая эффективность усовершенствованных технологий, включающих два районированных сорта люцерны изменчивой (Луговая 67 и Пастбищная 88) в сочетании с агротехническими приемами (смена состава бобовых видов в предшествующий период и инокуляция семян люцерны комплементарными штаммами *Sinorhizobium meliloti*). В результате применения агроэнергетического метода оценки производства обменной энергии и совокупных антропогенных затрат в единых показателях по международной системе СИ (ГДж/га) установлена их окупаемость — в 8–11 раз. Это достигалось благодаря высокой доле природных факторов (88–91 % от общих затрат), дополнительному поступлению азота в продукционный процесс за счет усиления симбиотической фиксации (141–171 кг/га в год) и долголетнего использования — в течение семи лет. Продуктивность 1 га составила 62–64 ГДж/га ОЭ, сбор протеина — 956–1120 кг/га, экономия антропогенных затрат вследствие исключения применения азотных удобрений — 17–21 ГДж/га.*

Ключевые слова: люцерно-злаковые сенокосы, совокупные антропогенные затраты, сбор обменной энергии, биологический азот, смена предшественника, инокуляция семян.

Создание люцерно-злаковых травостоев не только в традиционных степной и лесостепной зонах, но и в лесной зоне стало возможным благодаря созданию новых сортов этого бобового вида. Так, в 1956 г. был районирован сорт люцерны Северная гибридная, созданный во ВНИИ кормов коллективом селекционеров под руководством доктора сельскохозяйственных наук А. М. Константиновой [1; 2]. Урожайность люцерно-злаковых травостоев с участием этого сорта при коренном улучшении суходольных лугов, занимающих более 80 % площади этих угодий в Нечерноземной зоне, достигает 38–54 ц/га воздушно-сухой массы в зависимости от уровня кислотности дерново-подзолистой почвы [3]. В дальнейшем работа селекционеров была направлена на созда-

ние более урожайных сортов люцерны для укосно-пастбищного использования и устойчивости ее на кислых почвах [4]. В современных условиях, благодаря применению нового метода сопряженной селекции в ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», созданные сорта люцерны изменчивой Пастбищная 88 и Луговая 67, включенные в Государственный реестр (соответственно в 1996 и 2000 гг.), характеризуются более высоким потенциалом азотфиксирующей способности [5; 6; 7; 8]. В 2018 и 2020 гг. опубликованы результаты по экономической эффективности технологий луговых сенокосов при включении этих сортов в травосмеси на суходольных лугах [9; 10]. На основе обобщений результатов 7-летнего полевого опыта установлено, что при содержании в травостоях люцерны сортов Луговая 67 и Пастбищная 88 41–55 и 49–58 % от урожайности травостоев соответственно продуктивность 1 га улучшенных сенокосов составила 4980–6108 и 5513–6364 корм. ед., рентабельность производства достигала 115–140 % при низкой себестоимости корма — 4,1–4,9 руб./корм. ед. Такие высокие показатели по экономической оценке могут вызывать сомнение у руководителей хозяйств, поэтому они нуждаются в научных доказательствах. Это научное объяснение можно получить на основе сравнения роли невозобновляемых антропогенных затрат и возобновляемых природных факторов по методике, утвержденной РАСХН [11]. Полученные результаты по эффективности этих ресурсов в среднем за 7 лет использования люцерно-злаковых травостоев на луговых сенокосах приведены в этой статье.

Методика и условия проведения исследований по агроэнергетической эффективности усовершенствованных технологий для люцерно-злаковых сенокосов в среднем за 7 лет пользования проведены впервые в ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса». Экспериментальный участок относится к суходольному типу, преобладающему в Нечерноземной зоне. Почва дерново-подзолистая, среднесуглинистая, близкая к нейтральной ($pH_{\text{сол.}}$ — 5,8) благодаря известкованию в предыдущие годы, содержание подвижных форм калия и фосфора соответственно составило 118 мг/кг P_2O_5 и 74 мг/кг K_2O , гумуса — 2,2 %. Опыт заложен методом обычных повторений с рендомизированным размещением вариантов. Обработка почвы включала осеннее дискование в два следа и вспашку, весеннюю культивацию, прикатывание кольчатым катком до посева и гладким катком после посева. Посев травосмеси проведен под покров райграса однолетнего Московский 74 (14 кг/га).

В изучаемых травосмесях оценивали роль двух сортов люцерны изменчивой — Луговая 67 и Пастбищная 88 (12 кг/га при 100%-ной посевной годности), тимофеевку луговую ВИК 9 (6 кг/га) и овсяницу луговую ВИК 5 (8 кг/га). Кроме того, в схеме опыта (табл. 1, 2, 3) преду-

**1. Урожайность и продуктивность люцерно-злаковых травостоев на сенокосах
в зависимости от разработанных новых технологий (в среднем за 7 лет)**

| Вариант, № пп | Структура технологий | | Урожайность СВ, ц/га | Продуктивность травостоя на 1 га | | | | Замена азота минеральных удобрений биологическим источником азота в сумме за 7 лет, кг | |
|------------------|---------------------------|--|-------------------------|----------------------------------|--------|------------------------|---|--|-----------------------|
| | предшествующий травостой* | травосмесь / доза удобрений, сорт люцерны | | ОЭ, ГДж | СП, кг | азот биологический, кг | замена минеральных удобрений биологическим азотом, кг | на 1 га | на 1 кг семян люцерны |
| | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | Злаковая / фон P ₅₀ K ₁₁₀ (контроль 1) | 38,0 | 35,6 | 315 | — | — | — | — |
| 2 | 1 | Злаковая / фон N ₁₁₀ P ₅₀ K ₁₁₀ (контроль 2) | 97,5 | 90,4 | 856 | — | — | — | — |
| 3 | 4 | Люцерно-злаковые / фон P ₅₀ K ₁₁₀ Луговая 67 | 73,2 | 67,5 | 720 | 65 | 82 | 574 | 48 |
| 4 | 2 | Луговая 67 | 86,2 | 79,7 | 1288 | 155 | 196 | 1372 | 114 |
| 5 | 2 | Луговая 67** | 90,7 | 82,8 | 1340 | 161 | 204 | 1428 | 119 |
| 6 | 4 | Пастбищная 88 | 81,3 | 74,7 | 1038 | 116 | 134 | 938 | 78 |
| 7 | 2 | Пастбищная 88 | 89,9 | 82,5 | 1244 | 149 | 189 | 1323 | 110 |
| 8 | 3 | Пастбищная 88** | 93,5 | 86,0 | 1400 | 174 | 224 | 1568 | 131 |
| | | НСР ₀₅ | 7,7 | | | | | | |

*1 — злаковый, 2 — бобово-злаковый с клевером луговым, 3 — бобово-злаковый с лядвенцем рогатым, 4 — бобово-злаковый с люцерной изменчивой;

**инокуляция семян люцерны.

2. Совокупные затраты антропогенной энергии в технологиях на создание, уход и использование люцерно-злаковых сенокосов

| Вариант, № пп | Структура технологий | | Затрат в среднем за 7 лет, ГДж/га | | | Соотношение затрат, % | |
|------------------|---------------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|-----------------|
| | предшествующий травостой* | травосмесь / доза удобрений, сорт люцерны | капитальные вложения | текущие производственные затраты на уход и использование | совокупные затраты за 1 год | капитальные вложения | текущие затраты |
| 1 | 1 | Злаковая / фон P ₅₀ K ₁₁₀ (контроль 1) | 1,22 | 4,23 | 5,45 | 22 | 78 |
| 2 | 1 | Злаковая / фон N ₁₁₀ P ₅₀ K ₁₁₀ (контроль 2) | 1,22 | 14,63 | 15,85 | 8 | 92 |
| 3 | 4 | Люцерно-злаковые / фон P ₅₀ K ₁₁₀ Луговая 67 | 1,50 | 4,31 | 5,81 | 26 | 74 |
| 4 | 2 | Луговая 67 | 1,50 | 4,33 | 5,83 | 26 | 74 |
| 5 | 2 | Луговая 67** | 1,50 | 4,34 | 5,84 | 26 | 74 |
| 6 | 4 | Пастбищная 88 | 1,50 | 4,32 | 5,82 | 26 | 74 |
| 7 | 2 | Пастбищная 88 | 1,50 | 4,34 | 5,84 | 26 | 74 |
| 8 | 3 | Пастбищная 88** | 1,50 | 4,35 | 5,85 | 26 | 74 |

*1 — злаковый, 2 — бобово-злаковый с клевером луговым, 3 — бобово-злаковый с лядвенцем рогатым, 4 — бобово-злаковый с люцерной изменчивой;

**инокуляция семян люцерны.

3. Агроэнергетическая оценка эффективности совокупных антропогенных затрат и природных факторов при создании и использовании укосных травостоев

| Вариант, № пп | Структура технологий | | Сбор | | Совокупные затраты энергии, ГДж/га | Природные факторы в структуре производства | | Окупаемость затрат АК, % | Удельные затраты, МДж | | Экономия антропогенных затрат, ГДж/га**** | |
|---------------|---------------------------|---|------------|-----------|------------------------------------|--|----|--------------------------|-----------------------|-----------|---|------------------------|
| | предшествующий травостой* | травосмесь / доза удобрений, сорт люцерны | ОЭ, ГДж/га | СП, кг/га | | ГДж/га | % | | на 1 ГДж ОЭ | на 1 ц СП | на производство туков | с учетом их применения |
| 1 | 1 | Злаковая / фон P ₅₀ K ₁₁₀ (контроль 1) | 26,7 | 236 | 5,45 | 21,25 | 88 | 490 | 204 | 2,3 | — | — |
| 2 | 1 | Злаковая / фон N ₁₁₀ P ₅₀ K ₁₁₀ (контроль 2) | 67,8 | 643 | 15,85 | 51,95 | 77 | 428 | 234 | 2,5 | — | — |
| 3 | 4 | Люцерно-злаковые / фон P ₅₀ K ₁₁₀ Луговая 67 | 50,6 | 540 | 5,81 | 44,79 | 88 | 871 | 115 | 1,1 | 7,1 | 7,8 |
| 4 | 2 | Луговая 67 | 59,8 | 962 | 5,83 | 53,97 | 90 | 1026 | 97 | 1,0 | 17,0 | 18,7 |
| 5 | 2 | Луговая 67** | 62,1 | 1008 | 5,24 | 56,26 | 90 | 1063 | 94 | 0,6 | 17,7 | 19,5 |
| 6 | 4 | Пастбищная 88 | 56,0 | 779 | 5,82 | 50,18 | 90 | 962 | 104 | 0,7 | 11,6 | 12,8 |
| 7 | 2 | Пастбищная 88 | 61,9 | 931 | 5,84 | 56,06 | 90 | 1060 | 94 | 0,6 | 16,4 | 18,0 |
| 8 | 3 | Пастбищная 88** | 64,5 | 1053 | 5,85 | 58,69 | 91 | 1103 | 91 | 0,6 | 19,4 | 21,3 |

*1 — злаковый, 2 — бобово-злаковый с клевером луговым, 3 — бобово-злаковый с лядвенцем рогатым, 4 — бобово-злаковый с люцерной изменчивой;

**инокуляция семян люцерны;

***экономия антропогенных затрат в результате замены минерального азотного удобрения биологическим источником.

смотрены также варианты со сменой предшественника — посев люцерно-злаковых травосмесей после клеверо-злаковых и лядвенце-злаковых травостоев, а также в сочетании с приемом предпосевной инокуляции семян люцерны изменчивой комплементарным штаммом *Sinorhizobium meliloti* СХМ1-412б.

Использование травостоев двуукосное (первый укос в фазе бутонизации — начала цветения бобовых). Удобрения вносили в два приема — весной и после первого укоса в равных дозах. Дозы удобрений в среднем за 7 лет на бобово-злаковых травостоях составили $P_{50}K_{110}$; для оценки влияния роли люцерны на продуктивность травостоев в схему опыта включены два варианта со злаковыми травостоями — на фоне $P_{50}K_{110}$ (контроль 1) и на фоне $N_{110}P_{50}K_{110}$ (контроль 2).

Все учеты и наблюдения проводили по принятым в луговодстве методикам. Комплексную агроэнергетическую оценку технологий создания и использования травостоев проводили согласно «Методическому пособию по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем ведения кормопроизводства» [11].

Метеорологические условия в годы исследований в основном были благоприятными для трав; ГТК (по Г. Т. Селянинову) составил 1,21–1,84, только в 2002 г. ГТК снизился до 0,45.

Результаты исследований. Полученные результаты по урожайности (СВ, ц/га), продуктивности травостоев и сбору с учетом технологических потерь при заготовке сена (25 % от урожайности) обменной энергии (ГДж/га), сырого протеина (общего азота, кг/га) обобщены в таблицах 1 и 3. Участие люцерны двух изучаемых сортов повысило урожайность травостоев при применении ранее разработанной (базовой) технологии по сравнению с контролем 1 на 93 и 114 % в среднем за 7 лет соответственно при включении сортов Луговая 67 и Пастбищная 88. Установленное преимущество по урожайности травостоев с участием второго сорта по сравнению с первым, прибавка статистически доказана. Включение в технологию приемов смены предшественника повысило урожайность травостоев на 18 и 11 %, а при сочетании этого приема с предпосевной инокуляцией — на 24 и 15 % к базовой технологии, по сравнению с контролем 1 — на 139 и 146 %, а по производству сырого протеина — на 326–345 %. На этом фоне агротехники продуктивность травостоев по содержанию обменной энергии с 1 га была близкой (82,8 и 86,0 ГДж/га). По содержанию азота в урожае установлено преимущество сорта Пастбищная 88 — прибавка составила 17 % по сравнению с участием первого сорта. С учетом полученного коэффициента использования азота злаковыми травостоями определен уровень замены их биологическим азотом из минеральных удобрений за счет накопления азота в урожайности люцерно-злаковых травостоев при

применении усовершенствованных технологий. В среднем за 7 лет бобово-злаковые травостои (по содержанию азота в урожае) равноценны 204–224 кг/га действующего вещества минеральных азотных удобрений. В сумме за 7 лет пользования дополнительное накопление биологического азота в надземной массе составило 1427 и 1568 кг/га при сочетании двух приемов (смена предшественника и инокуляция семян). В связи с тем, что в составе высеванных травосмесей было израсходовано 12 кг семян люцерны, эффект накопления биологического азота в расчете на 1 кг семян в сумме за 7 лет составил 94 кг для сорта Луговая 67 и 102 кг для сорта Пастбищная 88, что с учетом замены действия минеральных азотных удобрений соответствует 119 и 131 кг действующего вещества минеральных азотных туков (аммиачная селитра).

В таблице 2 представлены совокупные затраты антропогенной энергии (ГДж/га в среднем за 7 лет), включающие все основные звенья восьми технологий — капитальные вложения, текущие производственные затраты на уход за травостоями (подкормка удобрениями) и использование (заготовка сена). Доля текущих затрат на фоне применения $P_{50}K_{110}$ составляет 74 %, при дополнительном внесении азотных удобрений в дозе N_{110} этот показатель увеличивается до 92 %. В структуре капитальных вложений основные затраты приходятся на подготовку почвы к посеву и залужение. Однако при необходимости включения приема известкования кислых почв капитальные вложения повышаются в 2–3 раза, что можно реализовать при дотации хозяйств. Поэтому для сокращения капитальных вложений первоочередными объектами при создании бобово-злаковых травостоев являются площади со слабокислой и близкой к нейтральной реакции почвы за счет последствия известкования в предыдущие годы.

Эффективность антропогенных затрат на технологии создания люцерно-злаковых сенокосов определяли по сбору корма с учетом технологических потерь на ворошение, сгребание в валки при рулонной заготовке сена (табл. 3). Сбор обменной энергии в сене люцерно-злакового состава на фоне $P_{50}K_{110}$ в среднем за 7 лет был выше на 133 % при участии сорта Луговая 67 и на 142 % при участии сорта Пастбищная 88, соответственно сбор сырого протеина — в 4,3–4,4 раза больше, чем на злаковом травостое на аналогичном фоне $P_{50}K_{110}$. На основе балансового метода определена доля природных факторов. Следует особо подчеркнуть, что под влиянием технологий и отдельных приемов, входящих в их структуру, роль природных факторов возрастает с 21,25 ГДж/га (100 %) на злаковом сенокосе при дополнительной подкормке азотными удобрениями на 144 %, на люцерно-злаковых травостоях с участием сорта Луговая 67 — 154 % и с участием сорта Пастбищная 88 — на 165 %. Поэтому агроэнергетические коэффициенты

(АК) окупаемости затрат сбором обменной энергии для усовершенствованных технологий люцерно-злаковых сенокосов (в соответствии с сортами — 1063 и 1102 %) превосходят показатели злакового травостоя (438 %) на фоне N₁₁₀P₅₀K₁₁₀ в 2,5–2,6 раза. Удельные затраты антропогенной энергии на производство 1 ГДж обменной энергии на бобово-злаковых травостоях были ниже (91–94 ГДж/1 ГДж ОЭ), чем на злаковых травостоях. Кроме того, достигается большая экономия совокупных антропогенных затрат благодаря исключению применения азотных удобрений в хозяйствах — 17,0–21,0 ГДж/га (в том числе на производство аммиачной селитры — 15,4–19,1 ГДж/га).

Заключение. Приведенные в статье результаты по агроэнергетической оценке усовершенствованных технологий создания и использования люцерно-злаковых травостоев на лугах лесной зоны благодаря применению современного эколого-энергетического метода позволяют понять причины высокой экономической эффективности за счет мобилизации природных факторов. В настоящее время сдерживающими причинами применения подобных новых разработок в производственных условиях является недостаточная обеспеченность семенами районированных сортов многолетних бобовых трав потребности луговодства, а также соответствующими препаратами клубеньковых бактерий. Это потребует не только восстановления системы семеноводства и агрохимической службы в стране, но и создания новой структуры для обеспечения комплементарными микробиологическими препаратами клубеньковых бактерий в соответствии с районированными сортами в каждом регионе. Для определения выбора первоочередных объектов с учетом экологической характеристики улучшаемой площади, а также с целью применения ресурсосберегающих технологий при улучшении природных сенокосов следует восстановить службу оценки качества земельных ресурсов не только для пахотных земель, в том числе вышедшей из оборота пашни (вынужденная залежь), но и для природных кормовых угодий.

Литература

1. Константинова А. М. Новый районированный сорт люцерны Северная гибридная // Бюл. научно-технической информации. – 1956. – № 1. – С. 32–34.
2. Тарковский М. И. Продвижение культуры люцерны на север в Нечерноземную зону // Бюл. научно-технической информации. – 1956. – № 1. – С. 35–36.
3. Кутузова А. А., Ермакова К. А. Люцерны на культурных пастбищах // Луга и пастбища. – 1971. – № 6. – С. 31–32.
4. Писковацкий Ю. М., Ненароков Ю. М. Создание пастбищных сортов люцерны для Нечерноземной зоны // Кормопроизводство : сб. науч. тр., вып. 14. – М., 1976. – С. 59–63.

5. Писковацкий Ю. М., Степанова Г. В. Биологические аспекты фитоценотической селекции люцерны для условий Нечерноземной зоны // Кормопроизводство России : сб. науч. тр. к 75-летию ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса. – М., 1997. – С. 318–325.
6. Писковацкий Ю. М., Степанова Г. В. Особенности селекции люцерны для многовидовых агрофитоценозов Нечерноземной зоны России // Бобовые культуры в современном сельском хозяйстве : сб. науч. тр. Междунар. совещ. – Новгород, 1998. – С. 49–51.
7. Писковацкий Ю. М., Ненароков Ю. М., Степанова Г. В. Новые сорта люцерны — важный источник получения высокобелковых кормов // Резервы увеличения производства растительного белка : сб. науч. тр., вып. 45 / ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса. – М., 1990. – С. 168–171.
8. Писковацкий Ю. М., Соложенцева Л. Ф. Селекция люцерны на устойчивость к кислым почвам // Продовольственная безопасность сельскохозяйственной России в XXI веке. Жученковские чтения II : сб. науч. трудов, выпуск 11 (59). – М. : ООО «Угрешская типография», 2016. – С. 172–179.
9. Экономическая эффективность систем и усовершенствованных технологий производства объемистых кормов на сенокосах / А. А. Кутузова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 6. – С. 44–50.
10. Экономическая эффективность усовершенствованных технологий создания и использования сеяных сенокосов / А. А. Кутузова [и др.] // Кормопроизводство. – 2020. – № 3. – С. 3–8.
11. Михайличенко Б. П., Шпаков А. С., Кутузова А. А. Методическое пособие по агроэнергетической оценке технологий и систем ведения кормопроизводства. – М. : Россельхозакадемия – ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса. – М., 2000. – 53 с.

AGROENERGY EFFICIENCY OF IMPROVED TECHNOLOGIES FOR CREATION AND USE OF ALFALFA-CEREAL HAYMAKING IN THE NON-CHERNOZEM ZONE

A. A. Kutuzova, E. E. Provornaya, G. V. Stepanova

*On the basis of field experience in the creation of alfalfa-grass stands on sod-podzolic soil of the Non-Chernozem zone, a high agroenergetic efficiency of improved technologies has been established, including two zoned varieties of alfalfa changeable (Lugovaya 67 and Pastbishchnaya 88) in combination with agrotechnical methods (change in the composition of leguminous species in the previous period and pre-sowing inoculation of alfalfa seeds with complementary strains of *Sinorhizobium meliloti*). As a result of the application of the agro-energy method for assessing the production of exchangeable energy and total anthropogenic costs in uniform indicators according to the international SI system (GJ/ha), their payback was established — 8–11 times. This was achieved due to a high share of natural factors (88–91% of total costs), additional nitrogen input into the production process due to increased symbiotic fixation (141–171 kg/ha per year) and long-term use — for 7 years. The productivity of 1 hectare was 62–64 GJ/ha metabolic energy, the collection of protein was 956–1120 kg/ha, the saving of anthropogenic costs due to the exclusion of the use of nitrogen fertilizers was 17–21 GJ/ha.*

Keywords: *alfalfa-cereal hayfields, total anthropogenic costs, collection of metabolic energy, biological nitrogen, change of predecessor, seed inoculation.*