

АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОЛГОЛЕТНЕГО СЕНОКОСА

Д. М. Тебердиев, доктор сельскохозяйственных наук
А. В. Родионова, кандидат сельскохозяйственных наук
М. А. Щанникова
С. А. Запивалов

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

DOI: <https://doi.org/10.33814/МАК-2021-25-73-94-100>

На долголетнем сенокосе (75 лет жизни) по пяти технологическим системам ведения выявлены высокие показатели окупаемости совокупных затрат сбором обменной энергии. Сбор обменной энергии в техногенной системе, без внесения удобрений, составляет 24,6 ГДж/га с учетом технологических потерь, в техногенно-минеральной (на фоне $N_{60-180}P_{39}K_{75}$) повышается в 1,8–2,5 раза, в органической (20 т/га навоза один раз в четыре года) — в 1,5 раза.

Ключевые слова: *долголетний сенокос, технологические системы, обменная энергия, удобрения, видовой состав, травостой.*

Сохранение продуктивного долголетия ценных по составу сеяных фитоценозов обусловлено экономической задачей снижения капитальных вложений по сравнению с коренным улучшением при краткосрочном использовании травостоев. Наряду с этим луговые агрофитоценозы являются стабилизирующим средством сохранения окружающей среды. В условиях интенсификации актуальное значение приобретает разработка энергосберегающих технологий и систем. Применение интенсивных технологий ведения луговодства на основе использования многовариантных разработок позволяет повысить продуктивность угодий за счет применяемых приемов и природных возобновляемых источников энергии [1–6].

Наиболее эффективным приемом увеличения продуктивности сенокосов, улучшения видового состава и качества получаемого корма является применение органических и минеральных удобрений [7–14]. Несмотря на увеличение затрат, целесообразность интенсификации очевидна из-за значительного повышения продуктивности угодий. Для рационального использования материальных и трудовых ресурсов важно определить роль природных и антропогенных факторов в воспроизводстве энергии в агроэкосистеме.

Методика исследований. Исследования проводились на типич-

ном суходольном лугу временно-избыточного увлажнения с дерново-подзолистой почвой на травостое, созданном в 1946 г. посевом сложной травосмеси. Опыт заложен методом обычных повторений при систематическом размещении вариантов. Площадь делянки — 104 м², повторность четырехкратная. Травосмесь состояла из клевера лугового (*Trifolium pratense* L., 3 кг/га), клевера ползучего (*Trifolium repens* L., 2 кг/га), тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L., 4 кг/га), овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds., 10 кг/га), лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis* L., 3 кг/га), костреца безостого (*Bromopsis inermis* Leyss., 3 кг/га), мятлика лугового (*Poa pratensis* L., 2 кг/га). Перед посевом трав в слое почвы 0–20 см содержалось 2,03 % гумуса, 70 мг/кг обменного калия, 50 мг/кг подвижного фосфора, рН_{сол} — 4,3.

Виды удобрений: аммиачная селитра, двойной суперфосфат, хлористый калий. Дозы фосфорных и калийных удобрений несколько раз менялись в течение эксперимента: в 1947–1958 гг. — P₃₀K₃₀, в 1959–1972 гг. — P₃₀K₆₀, в 1973–1976 гг. — P₃₀K₉₀, в 1977–2020 гг. — P₄₅K₉₀, средние дозы за период исследований — P₃₉K₇₅. Азотные удобрения в дозах 60, 90, 120, 180 кг/га действующего вещества в полном удобрении вносились неизменно с 1957 г. Азотные и калийные удобрения вносились дробно под цикл отрастания, фосфорные — весной. Навоз вносили поверхностно (без заделки), начиная с 1950 г., в осенний период один раз в четыре года. Навоз полуперепревший (после хранения в течение пяти–шести месяцев), с содержанием в среднем: N — 0,40 %, P₂O₅ — 0,25 %, K₂O — 0,45 %. Использование травостоя двуукосное. Первый укос проводили в фазу массового цветения доминирующего злака (лисохвоста лугового) в середине июня, второй — в первой декаде сентября. Учеты и наблюдения проводились по методикам исследований, принятым в луговодстве. Агроэнергетическую оценку технологических систем ведения выполняли в соответствии с методическими пособиями [15; 16].

Результаты исследований. В среднем за последние 28 лет (1993–2020 гг.) урожайность травостоя в техногенной системе (контроль без удобрений) составила 3,3 т/га сухого вещества (СВ), сбор обменной энергии (ОЭ) с учетом технологических потерь — 24,6 ГДж/га. В интегрированной системе на фоне P₃₉K₇₅ урожайность увеличивается на 51 %, в техногенно-минеральной на фоне N_{60–180}P₃₉K₇₅ — на 80–149 %, что составляет 5,9–8,2 т/га СВ и 44,2–61,4 ГДж/га ОЭ. При применении органической системы на фоне внесения 20 т/га навоза один раз в четыре года сбор обменной энергии составляет 37,1 ГДж/га, что на 51 % больше контроля. Использование комбинированной (органоминеральной) системы привело к увеличению урожайности травостоя до 7,4 т/га СВ и 55,5 ГДж/га ОЭ — выше на 17 % по сравнению с техно-

генной системой и на 65 % по сравнению с органической.

Состав семикомпонентной травосмеси, высеянной в 1946 г., изменялся по годам пользования под действием удобрений и метеорологических условий. Первые тридцать лет происходило переформирование травостоя: из него выпали краткосрочные виды (овсяница луговая, тимopheвка луговая, клевер луговой), что способствовало увеличению доли участия лисохвоста лугового, костреца безостого, мятлика лугового, внедрилась овсяница красная, которая являлась на протяжении последних 44 лет доминантом в травостоях без внесения удобрений, на фоне РК, НК, НР (техногенная и интегрированная системы); при внесении $N_{60-90}PK$ доминантом на протяжении всего периода использования травостоя является лисохвост луговой. Внесение азота в дозе N_{180} способствовало увеличению доли костреца безостого, который становится доминантом. На 74-й год пользования (2020 г.) в системах без азотных удобрений доминируют низовые виды — 65–73 %, основу которых составляет овсяница красная, участие верховых видов составляет 1–26 %. В техногенно-минеральной ($N_{90}PK$) и комбинированной системах доминирующими видами являются лисохвост луговой и ежа сборная — 76–79 %, при увеличении дозы азота (в варианте $N_{180}PK$) преобладает кострец безостый — 71 %. Значительное участие этих видов в составе агрофитоценоза способствовало высокой продуктивности травостоев, сбору сырого протеина до 877 кг/га и получению сена первого и второго классов.

В таблице показана структура приведенных затрат, включающих капитальные и текущие производственные затраты на использование сенокоса и уход. В структуре совокупных капитальных затрат антропогенные затраты на обработку почвы составили 21 %, на внесение пяти тонн извести — 67 %, на подготовку и посев травосмеси — 12 %. В целом капитальные вложения составили 31,08 ГДж/га, в среднем за 75 лет — 0,41 ГДж/га.

За время проведения исследований на долголетнем сенокосе проведено четыре поддерживающих внесения извести: в 1959 и 1980 гг. — по 3,0 т/га, в 1992 г. — 4,5 т/га, в 2008 г. — 4,5 т/га. Итоговая доза извести составила 15 тонн. По данным А. А. Кутузовой и В. П. Мельничука, ежегодно из почвы вымывается одна тонна извести, следовательно, ежегодные затраты на внесение извести в опыте составили 4,76 ГДж/га [17].

Таким образом, в ежегодные производственные затраты входило внесение извести — 15–57 %, подготовка и внесение минеральных и органических удобрений — 13–63 % в зависимости от системы ведения, скашивание растительной массы, ворошение, валкование и рулонная заготовка — 12–33 %, транспортировка рулонов на 5 км с учетом погрузки, выгрузки и складирования — 7–12 %.

Таблица. Агрэнергетическая эффективность технологических систем создания и использования долгодетного сенокоса за последние 28 лет

Вариант опыта, удобрения	Заграты, ГДж/га		Структура приведенных затрат, %		Производство обменной энергии на 1 га (с учетом технологических потерь)			Эффективность антропогенных затрат			
	капитальные, в среднем за 75 лет	текущие производственные на уход и использование	капитальные	текущие	всего, ГДж	в т. ч. за счет природных факторов		совокупные затраты энергии, ГДж/га	АК, %	затраты на 1 ГДж ОЭ, МДж	на 1 ц сырого протеина, ГДж
						ГДж	%				
Техногенная система											
Без удобрений	0,41	8,30	5	95	24,6	15,89	64	8,71	275	363	1,92
Интегрированная система											
Р ₃₉ К ₇₅	0,41	10,45	4	96	37,0	26,14	71	10,86	325	308	3,08
Техногенно-минеральная система											
N ₆₀ P ₃₉ K ₇₅	0,41	16,15	3	97	44,2	27,64	62	16,56	254	370	3,26
N ₉₀ P ₃₉ K ₇₅	0,41	18,93	2	98	47,0	27,61	59	19,39	230	435	3,29
N ₁₈₀ P ₃₉ K ₇₅	0,41	28,33	2	98	61,4	32,66	53	28,74	205	487	3,22
Органическая система											
20 т/га навоза 1 раз в 4 года	0,41	16,66	2	98	37,1	20,03	54	17,07	214	466	3,97
Комбинированная система (органо-минеральная)											
20 т/га навоза 1 раз в 4 года + N ₉₀ P ₃₉ K ₇₅	0,41	26,97	2	98	55,5	28,12	51	27,38	191	522	4,04

Самые низкие приведенные затраты на создание долголетнего сенокоса и уход составили 8,71 ГДж/га в техногенной системе. В интегрированной системе затраты увеличились на 12 % за счет внесения фосфорно-калийного удобрения.

Наибольшие затраты отмечены в техногенно-минеральной системе (фон N₁₈₀ПК) — 28,74 ГДж/га, что в 3,3 раза выше контроля, при внесении N₆₀ПК затраты снижаются до 16,56 ГДж/га. В органической системе, предусматривающей внесение 20 т/га навоза один раз в четыре года, приведенные затраты составили 17,07 ГДж/га, что соответствует внесению N₆₀ПК в техногенно-минеральной системе. В комбинированной системе затраты составили 27,38 ГДж/га, что в 3,1 раза выше контроля и на 38 % выше, чем в органической системе.

В целом в структуре приведенных затрат текущие затраты составили 95–98 %, а капитальные — всего 2–5 %, что объясняется долголетием созданного травостоя (75 лет).

В техногенной системе доля природных факторов в структуре производства обменной энергии составила 16 ГДж/га, или 64 % от общего сбора обменной энергии, в интегрированной системе увеличилась в 1,6 раза по сравнению с контролем. При использовании техногенно-минеральной системы, предусматривающей внесение N_{60–180}ПК, значительно повышается доля природных факторов по сравнению с контролем — на 74–105 %. В органической системе за счет природных факторов получено 20 ГДж/га, в комбинированной системе — 28 ГДж/га, что выше контроля в 3,5 раза и практически равноценно внесению N_{60–90}ПК.

Агроэнергетическую оценку эффективности антропогенных затрат на создание и использование долголетнего сенокоса проводили по сбору обменной энергии с учетом 25 % технологических потерь.

Агроэнергетический коэффициент окупаемости затрат антропогенной энергии за счет сбора обменной энергии в техногенной системе составил 275 %. В интегрированной системе увеличивается доля природных факторов, что приводит к высокой окупаемости антропогенных затрат — 325 %. Использование техногенно-минеральной системы способствует увеличению сбора обменной энергии до 44,2–61,4 ГДж/га, окупаемость антропогенных затрат снижается до 205–254 %. Самая низкая окупаемость антропогенных затрат отмечена в комбинированной системе — 191 %, что в 1,4 раза ниже контроля и в 1,1 раза ниже, чем в органической системе.

Удельные затраты антропогенной энергии на производство 1 ГДж обменной энергии в техногенной системе составили 363 МДж, в интегрированной — 308 МДж. В техногенно-минеральной системе затраты были в 1–1,3 раза выше контроля, в органической и комбинированной системах — соответственно в 1,3 и 1,4 раза выше контроля.

Удельные затраты антропогенной энергии на производство 1 ц сырого протеина в техногенной системе составили 1,92 ГДж, в интегрированной системе они увеличились в 1,6 раза. В техногенно-минеральной системе резких различий по удельным затратам антропогенной энергии не наблюдалось — 3,22–3,29 ГДж. Незначительное увеличение удельных затрат отмечено в органической и комбинированной системах — соответственно 3,97 и 4,04 ГДж.

Высокие агроэнергетические коэффициенты получены благодаря значительной доле природных факторов в структуре производства обменной энергии.

Заключение. На основании проведенных исследований установлена возможность сохранения высокой продуктивности при длительном использовании самовозобновляющихся агрофитоценозов. Совокупные затраты на технологии окупались сбором обменной энергии по системам в 4–6 раз. Для обеспечения высокой продуктивности долголетнего сенокоса на уровне 44–61 ГДж/га ОЭ необходимо применять техногенно-минеральную систему на фоне $N_{90-180}P_{39}K_{75}$ и комбинированную — 56 ГДж/га ОЭ, что позволяет экономить капитальные затраты на залужение. Полученные результаты дают хозяйствам возможность выбора разработанных многовариантных систем ведения сенокоса в зависимости от обеспеченности техническими и финансовыми средствами.

Литература

1. Справочник по кормопроизводству / Под ред. В. М. Косолапова, И. А. Трофимова : 5-е изд. перераб. и дополн. – М. : Россельхозакадемия, 2014. – 717 с.
2. Многовариантные ресурсо- и энергосберегающие технологии коренного улучшения основных типов природных кормовых угодий по зонам России (Рекомендации) / А. А. Кутузова, А. А. Зотов, Д. М. Тебердиев [и др.]. – М., 2008. – 50 с.
3. Кутузова А. А., Тебердиев Д. М., Родионова А. В. Эффективность антропогенных затрат и природных факторов на долголетнем сенокосе // Кормопроизводство. – 2016. – № 10. – С. 8–12.
4. Основные направления развития лугового кормопроизводства в России / А. А. Кутузова, Д. М. Тебердиев, К. Н. Привалова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – № 2. – С. 17–20.
5. Ресурсосберегающие технологии улучшения сенокосов и пастбищ в Центральном-Черноземном районе (руководство) / А. А. Зотов, А. А. Кутузова, В. М. Косолапов [и др.] – М. : ФГУ РЦСК, 2012. – 54 с.
6. Эффективные системы производства кормов на пастбищах и сенокосах России и Польши : монография / В. М. Косолапов, А. А. Кутузова, Д. М. Тебердиев [и др.] / Под науч. ред. доктора с.-х. наук, чл. –корр. РАН В. М. Косолапова (Россия) и доктора с.-х. наук Е. Барщевски (Польша). – М. : Угрешская типография, 2015. – 348 с.
7. Привалова К. Н. Биологический потенциал самовозобновляющихся видов многолетних трав в составе разновозрастных пастбищных травостоев // Мно-

- гофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. тр., вып. 24 (72). – М., 2020. – С. 14–18.
8. Привалова К. Н., Каримов Р. Р. Агроэнергетическая эффективность производства пастбищного корма на долголетних райграсовых и фестулолиумовых травостоях // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. тр., вып. 19 (67). – М., 2018. – С. 74–79.
 9. Привалова К. Н., Алтунин Д. А. Ботанический состав долголетних фитоценозов и качество корма при разных технологических системах ведения пастбища // Адаптивное кормопроизводство. – 2018. – № 1. – С. 20–25.
 10. Смирнова А. В. Влияние минеральных и органических систем удобрения на продуктивность долголетнего пастбищного травостоя // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. тр., вып. 24 (72). – М., 2020. – С. 39–43.
 11. Ромашов П. И. Удобрение сенокосов и пастбищ. – М. : Колос, 1969. – 184 с.
 12. Жезмер Н. В. Экономическая эффективность длительного многоукосного использования разнопоспевающих злаковых травостоев // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. тр., вып. 24 (72). – М., 2020. – С. 24–29.
 13. Жезмер Н. В. Агроэнергетическая эффективность технологий создания и долголетнего укосного использования разнопоспевающих агроценозов // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. тр., вып. 14 (62). – М., 2017. – С. 68–73.
 14. Привалова К. Н. Продуктивность разновозрастных пастбищных травостоев // Кормопроизводство. – 1999. – № 11. – С. 12–14.
 15. Михайличенко Б. П., Шпаков А. С., Кутузова А. А. Методическое пособие по агроэнергетической оценке технологий и систем ведения кормопроизводства. – М. : Россельхозакадемия, 2000. – 52 с.
 16. Кутузова А. А., Трофимова Л. С., Проворная Е. Е. Новый метод энергетической оценки луговых агроэкосистем // Программа и методика проведения научных исследований по луговодству (по Межведомственной координационной программе НИР Россельхозакадемии на 2011–2015 гг.) / Под ред. А. А. Кутузовой, К. Н. Приваловой. – М. : ФГОУ РЦСК, 2011. – С. 128–163.
 17. Кутузова А. А., Мельничук В. П. Известкование и гипсование почв на культурных пастбищах // Создание и использование долголетних культурных пастбищ : комплект плакатов. – 1978. – 1 плакат.

AGROENERGY EFFICIENCY OF TECHNOLOGIES FOR CREATING AND USING OF LONG-YEAR HAYMAKING

D. M. Teberdiev, A. V. Rodionova, M. A. Shchannikova, S. A. Zapivalov

High rates of recoument of total costs by collecting exchange energy were revealed in long-term haymaking (75 years of life) for five technological systems of management. The collection of metabolic energy in a technogenic system without fertilization is 24.6 GJ per hectare, taking into account technological losses, in a technogenic-mineral system (N₆₀-180P₃₉K₇₅) it increases by 1.8-2.5 times, in an organic system (20 tons per hectare of manure once every four years) it increases by 1.5 times.

Keywords: *long-term haymaking, technological systems, metabolic energy, fertilizers, species composition, herbage.*