

A large green pentagon shape is centered at the top of the page. Inside this pentagon, the title of the document is written in white, bold, uppercase letters. The text is arranged in three lines, centered horizontally.

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ
ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ
В ЛУГОВЫХ АГРОЭКОСИСТЕМАХ**

Москва 2015

Российская академия наук
Федеральное агентство научных организаций России
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт кормов
имени В. Р. Вильямса»

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ
ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ
В ЛУГОВЫХ АГРОЭКОСИСТЕМАХ

Москва 2015

УДК 633.2.03
М545

Методика оценки потоков энергии в луговых агроэкосистемах. 3-е изд., перераб. и дополн. — М. : Угрешская типография, 2015. — 32 с.

Методику подготовили:

доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Анэля Александровна Кутузова,
кандидат сельскохозяйственных наук Людмила Сергеевна Трофимова,
кандидат сельскохозяйственных наук Елена Евгеньевна Проворная

Редакционная коллегия:

А. А. Кутузова, Л. С. Трофимова, Н. И. Георгиади

Методика предназначена научным сотрудникам научно-исследовательских учреждений и преподавателям учебных институтов для применения системного метода — энергетического анализа при конструировании агроэкосистем в луговодстве.

Методика рассмотрена и одобрена Ученым Советом ВНИИ кормов имени В. Р. Вильямса, протокол № 6 от 9 июля 2015 г.

ISBN 978-5-91850-030-9

© Российская академия наук
© Федеральное агентство научных организаций России
© ФГБНУ «ВНИИ кормов имени В. Р. Вильямса»

ВВЕДЕНИЕ

Луговые агроэкосистемы, как часть сельского хозяйства, относятся к категории открытых биоэнергетических систем, то есть постоянно нуждается в дополнительном поступлении антропогенной энергии. Замкнутые самовозобновляющиеся энергосистемы сохранились на удаленных неиспользуемых высокогорьях, долгопоемных лугах и лиманах. Экстенсивно используемые природные кормовые угодья нередко испытывают возрастающую антропогенную нагрузку, когда отчуждение энергии превосходит поступление ее, вследствие чего баланс потоков энергии нарушается, что приводит к их деградации.

До последнего времени интенсификация растениеводства базировалась на увеличении затрат невозполнимой энергии (углеводороды, запасы калийных солей, извести, гипса, металлоруды и др.). При этом на каждый дополнительный центнер продукции требовались все большие затраты «искусственной» энергии (Одум Ю., 1975; Жученко А. А., 1980). Состояние сельского хозяйства в России и в мире характеризуется устойчивой тенденцией к экспоненциальному росту затрат невозполнимой энергии. Для преодоления негативных последствий химикотехногенной интенсификации сельское хозяйство нуждается в разработке новых решений по рациональному сочетанию использования техногенных, природных и биологических ресурсов (Жученко А. А., 1994).

Луговое кормопроизводство, базирующееся на использовании естественных и сеяных травостоев из многолетних трав, отличается от однолетних культур более продолжительным периодом вегетации, способностью к накоплению подземной массы и органического вещества в почве. Поэтому луговые агроэкосистемы обладают более высокой способностью к аккумуляции природных факторов: самовозобновление долголетних фитоценозов, поступление симбиотически фиксированного азота сеянными и дикорастущими бобовыми компонентами, повышение плодородия почв благодаря накоплению органического вещества, в основном за счет фотосинтеза, использования физиологической энергии выпасаемых животных. Это свойство луговых агроэкосистем проявляется не только по сравнению с однолетними культурами, но и с

многолетними травами в севооборотах (вследствие более ограниченного периода их использования).

С учетом удобства унификации терминологии в понятие «луговая агроэкосистема» включены не только типичные луга с преобладанием мезофитных видов многолетних трав в лесной и лесостепной (северная часть) зонах, но также сенокосы и пастбища с ксерофитной растительностью других зон.

Методика оценки суммарного производства валовой энергии в луговых агроэкосистемах позволяет раскрыть взаимодействие антропогенных источников энергии и природных факторов в каждой технологии не только в луговодстве, но и в полевом кормопроизводстве. Кроме того, этот метод дает возможность проводить сравнительную оценку распределения потоков валовой энергии в надземной массе, характеризующей продукционный процесс луговых фитоценозов, в подземной массе и изменении плодородия почв. Понятие «поток энергии» был введен Ю. Одумом (1975) для описания поведения энергии в экосистемах. Применение современной международной системы Си позволяет дать количественную оценку продукционному процессу в целом, а также взаимодействию антропогенных ресурсов и использованию природных факторов, в том числе, солнечной энергии. Этот метод позволяет оценить последствие применяемых технологий и агротехнических приемов на изменение плодородия почвы в единичных показателях, например, в мегаджоулях (МДж) и гигаджоулях (ГДж).

Новизна предлагаемой методики заключается в том, что впервые оценка агроэкоэкологической системы в луговодстве будет проводиться на основе баланса поступления, накопления и расхода валовой энергии, позволяющего выявить роль природных факторов, а также взаимодействие антропогенных ресурсов с использованием солнечной энергии (прил. 1).

Практическое значение состоит в том, что на основе современного агроэнергетического метода будет показана многосторонняя роль лугового кормопроизводства, охарактеризованная в конкретных энергетических показателях: не только как источник обменной энергии для животноводства, но будет раскрыто значение его в общем круговороте валовой энергии с учетом последствие на изменение плодородия почв и переноса в другие агроэкосистемы (земледелие, растениеводство).

Метод агроэнергетической оценки приемов и технологий позволяет учесть все затраты энергии живого и овеществленного труда в единых показателях на основе международной системы Си (в джоулях), выявить наиболее энергоемкие звенья с целью их совершенствования, определить затраты антропогенной энергии сбором валовой и обменной энергии в произведенном корме.

Согласно международной системе измерения физических величин, количество энергии измеряется в джоулях (Дж). 1 Дж соответствует 0,2388 калорий, 1 калория — 4,1868 Дж; 1 килоджоуль (КДж) — 1000 Дж 10^3 ; 1 мегаджоуль (МДж) — 1000 КДж или Дж 10^6 ; 1 гигаджоуль (ГДж) — 1000 МДж или Дж 10^9 , 1 тераджоуль (ТДж) — 1000 ГДж или Дж 10^{12} . При этом для оценки качества кормов используют показатель валовой и обменной энергии в МДж, для определения продуктивности 1 га — в Гдж.

Предлагаемая методика оценки энергетических потоков в луговых агроэкосистемах включает решение шести основных задач:

1. Определение совокупных затрат антропогенной энергии в технологиях.
2. Оценка потенциала продуктивности естественных и сеяных фитоценозов сенокосов и пастбищ по производству валовой и обменной энергии при применении различных систем, технологий и приемов.
3. Определение содержания валовой энергии в подземной массе фитоценозов при применении различных систем, технологий и приемов.
4. Влияние луговых агроэкосистем на изменение энергетической емкости плодородия почв.
5. Влияние антропогенных факторов на суммарное накопление валовой энергии в луговых агроэкосистемах и распределение потоков по составляющим элементам.
6. Определение использования природных, биологических факторов и фотосинтетически активной радиации в управляемых антропогенных агроэкосистемах.

Для более быстрого овладения методикой и последовательного проведения расчетов в пособии изложены конкретные примеры (таблицы и пояснения к ним).

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОВОКУПНЫХ ЗАТРАТ АНТРОПОГЕННОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ

Энергоресурсы, используемые в сельском хозяйстве относятся к трем категориям: 1) овеществленные затраты труда на ресурсы, поставляемые промышленностью — машины, оборудование, удобрения, пестициды и др., или сельским хозяйством — семена, органические удобрения; 2) прямые затраты на энергетические ресурсы (нефтепродукты — дизельное топливо, бензин, газ) и электроэнергия; 3) энергозатраты трудовых ресурсов — живой труд трактористов, механизаторов, рабочих, пастухов и прочее.

Источники энергии принято делить на возобновляемые (солнце, ветер, энергия движущейся воды в реках, органические удобрения и др.) и невозобновляемые (ГСМ — горюче-смазочные материалы, электроэнергия, газ, металлы, руды минеральных удобрений).

Совокупные затраты в изучаемой или рекомендуемой технологии определяют по технологическим картам, учитывающим работу сельскохозяйственных машин, расход материальных ресурсов и трудовых затрат согласно принятым «Методическим пособиям по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства» (1995; 2000). Металлоемкость машин (кг на 1 га) определяют с учетом массы каждой машины, энергетического эквивалента для данного класса, нормативной выработки в единицу времени. Например, при вспашке 1 га плугом ПЛН-4-35 в агрегате с трактором ДТ-75М норма выработки за 1 час составляет 0,74 га, затраты времени на 1 га — 1,35 час, затраты ГСМ — 15,4 кг/га или 811 МДж/га, затраты труда — 82 МДж/га, затраты работы трактора — 348 МДж/га, плуга — 128 МДж/га, всего — 1369 МДж/га.

Нормативы для расчета затрат на материальные ресурсы показаны в таблице 1. Энергетические эквиваленты материальных затрат включают всю сумму затрат энергоресурсов на каждом этапе — добычи, производства, транспортировки и хранения.

Энергетические эквиваленты живого труда разработаны ФАО — Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН. Затраты труда (табл. 2, графы 3 и 4) устанавливают по технологическим картам

1. Нормативы для расчета затрат совокупной энергии на материальные ресурсы

Ресурсы	Энергетический эквивалент, МДж	Расход ресурсов, кг/га	Затраты совокупной энергии, МДж/га	
			залужение	огораживание
Удобрения, 1 кг действующего вещества:				
азотные	86,8	60	5208	—
фосфорные	12,6	60	756	—
калийные	8,3	120	996	—
Топливо жидкое, кг				
залужение	52,7	133,8	7051,3	—
огораживание	52,7	26,7	—	1407,1
Электроэнергия, 1 кВт/час	12	1,29	15,5	—
Железобетонные столбики, м ³	4400	0,36	—	1584,0
Проволока, 1 кг	85,8	46	—	3946,8
Электроизгородь, 1 комплект	86,4	70	—	6048,0

там. Затраты труда на технологическое обслуживание и ремонт сельскохозяйственной техники составляют 25 % от общих затрат труда трактористов, шоферов, операторов; затраты на управление технологическими процессами составляют 12 % от общей суммы прямых затрат труда. В итоге все затраты на изучаемые приемы, технологии и системы суммируются, эффективность их в дальнейшем оценивается по показателям окупаемости их сбором валовой и обменной энергии.

2. Нормативы для расчета затрат совокупной энергии на трудовые ресурсы

Категория работников	Энергетический эквивалент, МДж/чел.-час работы	Затраты труда, чел.-час/га		Затраты совокупной энергии, МДж/га	
		залужение	огораживание	залужение	огораживание
Трактористы-машинисты	43,4	10,5	3,82	4555,7	165,79
Операторы электрических машин	43,7	0,02	—	0,87	—
Полевые рабочие	29,7	0,47	1,545	13,96	45,89
Ремонтные рабочие	41,8	2,63	0,96	109,93	40,13
Инженерно-технические работники	67,0	1,3	0,64	87,1	42,88
Всего затрат				667,56	294,69

2. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПРОДУКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И СЕЯНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ СЕНОКОСОВ И ПАСТБИЩ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ВАЛОВОЙ И ОБМЕННОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ, ТЕХНОЛОГИЙ И ПРИЕМОМ

Для определения потенциала продуктивности сенокосов и пастбищ по производству обменной энергии при применении различных технологий в методике предусматривается решение двух основных задач: определение потенциала сбора обменной энергии в произведенном на сенокосах и пастбищах корме с целью прогнозирования возможного выхода животноводческой продукции; определение окупаемости затрат сбором валовой и обменной энергии. Для этого вначале определяют концентрацию валовой энергии с учетом содержания органических веществ в корме и соответствующих им энергетических коэффициентов (табл. 3) по формуле:

$$ВЭ = сП \times K_1 + сЖ \times K_2 + сКл \times K_3 + сБЭВ \times K_4,$$

где сП — сырой протеин, сЖ — сырой жир, сКл — сырая клетчатка, сБЭВ — сырые безазотистые экстрактивные вещества, представленные в долях килограмма в расчете на 1 кг сухого вещества корма; K_1 – K_4 — энергетические коэффициенты.

3. Энергетические коэффициенты питательных веществ корма

Сырые питательные вещества	Обозначения коэффициентов	Валовая энергия в 1 кг СВ (МДж)
Протеин	K_1	24,0
Жир	K_2	40,0
Клетчатка	K_3	20,0
БЭВ	K_4	17,5

В таблице 4 приведен пример по сбору сухого вещества (СВ), валовой (ВЭ) и обменной (ОЭ) энергии на долголетнем сенокосе (48–60 лет жизни трав) за последние 13 лет пользования. Сбор сухого вещества рассчитан с учетом урожайности фитоценозов и технологических потерь при рулонной заготовке сена (25 % от урожайности). На основании показателей качества корма (содержание сП, сЖ, сКл, сБЭВ) и

4. Агроэнергетическая эффективность систем ведения долголетних сенокосов (залужение 1946 г.) по сбору обменной энергии, в среднем за 1993–2005 гг.

Технологическая система	В том числе, удобрение	Сбор с 1 га			Затраты антропогенной энергии, ГДж/га	АК по сбору ОЭ, раз	Удельные затраты, МДж/1ГДж ОЭ
		СВ, ц	ВЭ, ГДж	ОЭ, ГДж			
Техногенная	Без удобрений	35,8	1,96	19,1	2,8	6,8	147
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га 1 раз в 4 года	61,1	3,27	32,9	10,0	3,3	304
Техногенно-минеральная	P ₄₅ K ₉₀	57,7	3,14	30,5	6,0	5,1	197
	N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀	73,4	3,97	38,6	11,5	3,4	298
	N ₉₀ P ₄₅ K ₉₀	85,6	4,58	44,5	14,2	3,1	319
	N ₁₂₀ P ₄₅ K ₉₀	96,1	5,12	49,8	16,9	3,0	339

энергетических коэффициентов (см. табл. 3) рассчитан сбор валовой энергии с 1 га. При подкормке травостоя навозом (20 т/га 1 раз в 4 года) и при внесении P₄₅K₆₀ сбор сухого вещества и валовой энергии увеличился в 1,6–1,7 раза по сравнению с техногенной системой (контроль — старосеяный травостой без удобрений). По мере интенсификации системы ведения сенокоса в результате повышения фактора химизации сбор валовой энергии возрос в 2,1–2,7 раза.

С целью прогнозирования объемов производства животноводческой продукции определяют концентрацию в корме обменной энергии, которая отражает ее физиологически доступную часть. Для унификации агрохимических показателей качества корма по вариантам в различных исследованиях, полученных в полевых агротехнических опытах, для оценки концентрации обменной энергии (ОЭ) применяют формулу Ж. Аксельсона в модификации Н. Г. Григорьева и Н. П. Волкова (1990):

$$ОЭ = 0,73 \times ВЭ \text{ в } 1 \text{ кг СВ } (1 - сКл \times 1,05),$$

где 0,73 — коэффициент обменности; сКл — сырая клетчатка; (1 – сКл × 1,05) — коэффициент, отражающий понижающее действие клетчатки на энергетическую ценность корма.

Отношение произведенной обменной энергии к совокупным энергетическим затратам на технологии выражает агроэнергетический коэффициент (АК) окупаемости антропогенных затрат с учетом прямых задач по кормопроизводству и преобразования этой части энергии в животноводческую продукцию (пример в табл. 4).

Всестороннюю агроэнергетическую оценку изучаемых технологий следует проводить с учетом четырех основных показателей: сбор обменной энергии с 1 га, совокупные затраты антропогенной энергии, окупаемость их сбором обменной энергии — агроэнергетический коэффициент (АК) и удельные затраты на произведенный 1 Гдж. Пример приведен для долголетнего сенокоса (см. табл. 4). Такой методический анализ позволяет обосновать многовариантные предложения с учетом потребности увеличения производства корма и возможности применения для этого различных затрат. Получение показателя АК, близкого к единице, указывает только на возмещение антропогенных затрат, а превышение единицы — на агроэнергетическую их эффективность. При этом показатель удельных затрат антропогенной энергии на производство 1 ГДж обменной энергии корма является обратной величиной к показателю АК. Проведение агроэнергетической оценки технологии только по показателю АК (или удельным затратам на 1 ГДж ОЭ) возможно при сравнении двух технологий, характеризующихся близкими результатами по сбору обменной энергии с 1 га (при разных затратах) или при условии близких затрат антропогенной энергии (при разной продуктивности 1 га). Так, в приведенном примере при довольно близких показателях продуктивности их на фоне 20 т/га навоза и при внесении $P_{45}K_{90}$ (32,9 и 30,5 ГДж/га ОЭ) в результате снижения совокупных затрат антропогенной энергии в техногенно-минеральной системе получен более высокий показатель окупаемости их сбором обменной энергии (5,1 раза) по сравнению с техногенно-органической системой (3,3 раза). Если поставлена научная и практическая задача получить более высокую продуктивность сенокоса, то в указанном примере этому соответствует повышение фона удобрений до $N_{120}P_{45}K_{90}$, несмотря на снижение показателя АК (до 3,0 раза) по сравнению с предыдущим показателем на фоне $P_{45}K_{90}$ (АК 5,1 раза).

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВАЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ПОДЗЕМНОЙ МАССЕ ФИТОЦЕНОЗОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ, ТЕХНОЛОГИЙ И ПРИЕМОВ

Корневая система луговых растений обеспечивает не только поступление питательных веществ из почвы в надземную часть агрофитоценозов, но и оказывает существенное последствие на изменение плодородия почвы в результате ее накопления, частичного отмирания в период пользования и минерализации. Если в первые годы пользования сеянными луговыми травостоями отмечается прогрессивное накопление корневой массы, то впоследствии этот процесс стабилизируется. Так, в условиях суходольного луга после 12–13 лет пользования в почве сформировалось 18,4–26,6 т/га подземных органов (корней, корневищ и других в слое 0–20 см), среднегодовые темпы накопления за этот период составили 1,5–2,0 т/га сухого вещества. В общем запасе подземной массы содержится до 400 кг азота и K_2O , около 80–100 кг P_2O_5 (Кутузова А. А., Федорова Л. Д., 1987). В последующие годы процессы новообразования, отмирания и разложения корней приходят почти в равновесное состояние. Минерализация отмершей части подземных органов происходит активно и непрерывно во всех луговых почвах нормального увлажнения, что обусловлено достаточным количеством кислорода в почвенном воздухе и отсутствием высокой концентрации CO_2 , оказывающей консервирующее влияние на превращение органического вещества (Гудков В. В., 1984). Этот процесс способствует накоплению гумуса в почве непосредственно в процессе использования луга. Равновесное состояние накопления и разложения корневой массы является важным показателем устойчивости луговых фитоценозов. В связи с этим количественную оценку корневой массы необходимо проводить при завершении исследований в краткосрочных полевых опытах (через 4–6 лет), в долговечных (стационарных) опытах периодически — один раз в 5–10 лет в зависимости от зоны и продолжительности использования сенокосных и пастбищных агрофитоценозов. В связи с тем, что на лугах посев трав проводится, как правило, разбросно-рядовым и разбросным способом, а не рядовым, как принято на пашне, для отбора почвенных проб с целью определения запаса корней удобно пользоваться цилинд-

рическим буром (диаметром 95 мм), что апробировано в исследованиях ВНИИ кормов (Конюшков Н. С., Минина И. П., Работнов Т. А. и др., 1971).

В связи с тем, что основная корневая масса луговых растений в лесной зоне находится в верхнем слое почвы, можно ограничиться определением массы корней в слое 0–10 и 10–20 см. В степной зоне, где глубина распространения основной массы корней больше, для определения отбора проб по слоям необходимо провести ориентировочные раскопки распространения корневых систем методом Н. З. Станкова (1951).

Учитывая трудоемкость определения корней, образцы почвы для отмывки следует отобрать на основных (перспективных) вариантах и в контроле (то есть не по всем вариантам схемы полевого опыта). Для последующей статистической обработки полученных результатов отбор проб проводят не менее чем на трех повторностях полевого опыта, по 5–10 уколов на делянке. Такого количества обычно бывает достаточно на мелкотравном травостое. Перед отбором проб очистить поверхность почвы, срезав растения (или стерню) на уровне поверхности почвы, собрать опад (старичку) и учитывать ее отдельно.

Отмывать желательнее свежие корни на ситах с диаметром отверстий 0,15 мм. После этого отжатые корни перекалывают для просушивания до постоянного веса. Из отмытого образца отбирают пинцетом попавшую стерню (ее присоединяют к основному образцу) и сор (кусочки древесины, листья древесных пород и т. п.).

В луговой дернине (корневой массе) неизбежно присутствие механических примесей (минеральные частицы, плотно скрепленные с отдельными корнями), которые не удастся отмыть приведенным выше методом. Количество этих минеральных примесей в корнях определяют методом сжигания, получая вначале суммарное количество золы и механических примесей в среднем образце, затем в этом же образце определяют количество золы, либо методом мокрого озоления, либо методом сжигания более крупных, наиболее чисто отмытых корней. Допустимо также для определения содержания ВЭ ориентироваться на содержание золы в надземной массе. Вычитая из полученного содержания золы (с минеральными частицами) в среднем образце истинное ее содержание, получаем процентное содержание механических примесей

в среднем образце корней. Это количество необходимо исключить при расчете массы корней, а также учитывать при расчете химического состава корневой массы, умножая полученные при химическом анализе показатели на коэффициент $\frac{100}{100-a}$, где a — содержание механических примесей в корнях, %.

Валовая энергия (ВЭ) в корнях рассчитывается по общепринятой методике, для чего определяют содержание протеина (по общему азоту), клетчатки, жира, золы, рассчитывают БЭВ, что на примере злакового и бобово-злакового сенокосов показано в таблице 5 и приложении 2.

При оценке минерального состава корней следует ограничиться определением содержания золы, азота и фосфора. Содержание калия в корнях не подлежит оценке, так как при отмывке, в связи с большой подвижностью этого элемента, происходит значительная его потеря. Истинное содержание калия в корнях можно определить в вегетационных опытах с песчаными или супесчаными почвами, позволяющими провести быструю отмывку образцов, что обеспечит минимальные потери калия.

Определенная в корнях валовая энергия характеризует влияние антропогенных факторов, в сочетании с природными, на накопление органической массы, являющейся источником гумуса (углерода) в почве. Эта информация показывает суммарное накопление валовой энергии в агроэкосистеме в целом, что необходимо для оценки их роли в современных биосферных процессах.

4. ВЛИЯНИЕ ЛУГОВЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

Оценка изменения валовой энергии плодородия почвы под влиянием изучаемых приемов проводится на основе результатов агрохимических анализов почвы в исходном состоянии и на момент оценки.

Агрохимические анализы почв проводятся по общепринятым методикам в зависимости от типа почв. Так, для дерново-подзолистых почв содержание гумуса определяют по Тюрину, общего азота — по Кьельдалю, подвижных форм фосфора и калия — по Кирсанову, $pH_{\text{сол}}$ — потенциометрически.

**5. Влияние систем ведения и состава травостоев сенокосов на накопление валовой энергии в подземной массе
(слой почвы 0–20 см)**

Технологическая система	В том числе, удобрение	Состав травостоя	Масса корней, т/га СВ	Содержание ВЭ, МДж/кг СВ		Соотношение ВЭ подземной массы ВЭ надземной массы	Закрепление ВЭ в корнях, ГДж/га
				подземная масса	надземная масса		
Злаковый сенокос (после 60 лет жизни трав)							
Техногенная	Без удобрений	Разнотравно-злаковый	21,23	18,0	18,4	0,98	182,2
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га 1 раз в 4 года	Разнотравно-бобово-злаковый	20,96	16,7	19,0	0,88	350,0
Техногенно-минеральная	N ₁₂₀ P ₄₅ K ₉₀	Злаковый	23,44	16,5	18,8	0,88	386,8
Бобово-злаковый сенокос (после 5 лет жизни трав)							
Техногенно-минеральная	P ₆₀ K ₁₀₀	С клевером луговым Тетрапloidный ВИК	12,55	17,6	18,4	0,96	220,9
		С люцерной изменчивой Лада	13,68	18,0	18,5	0,97	246,2
		С лядвенцем рогатым Луч	12,95	17,7	18,4	0,96	229,2

Для расчета валовой энергии используются средние результаты анализов почвенных проб, отобранных два года подряд, с целью получения более объективных (устойчивых) данных. Результаты агрохимических анализов по слоям почвы 0–10 и 10–20 см заносятся в рабочую таблицу 6 (пример приведен для суходольного луга). С учетом плотности (объемной массы) почвы в каждом слое определяют запас содержания гумуса, азота, фосфора и калия в килограммах на гектар. В рабочей таблице по этим данным определяют запас и средневзвешенное содержание гумуса, азота, фосфора и калия в слое почвы 0–20 см, среднее содержание $pH_{\text{сол}}$ и полученные данные заносятся в таблицу. Содержание минеральных веществ в почве переводится в количество удобрений, которое необходимо внести, чтобы получить соответствующее содержание этих элементов в почве. Учитывая превращение удобрений в почве (частичное закрепление в необменной форме), при расчете валовой энергии использовали размеры запаса доступных питательных веществ в почве, умноженные на установленные в ранее проведенных специальных исследованиях коэффициенты: для азотных удобрений — 1,25, для фосфорных — 2,7 на краткосрочных опытах и 2,9 — на долготных, для калийных — 1,7. Это соответствует тому, что при внесении азотных удобрений 80 % остается в доступной форме, фосфорных — 37 и 35 %, калийных — 60 % от внесенной дозы (пример расчета — в пояснении к табл. 7).

Энергозатраты на удобрения принимали в соответствии с нормативами («Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства», 1995; 2000).

На основе ранее установленных затрат для сдвига активной кислотности почвы на 0,1 $pH_{\text{сол}}$ (Шип В. В., 1990) в расчетах принято: 4,3 ГДж/га для сильнокислых почв ($pH_{\text{сол}}$ 4,1–4,5) и 3,4 ГДж/га для других уровней кислотности ($pH_{\text{сол}}$ более 4,6). Затраты на накопление гумуса, благодаря дерново-образовательному процессу, по итогам долготных исследований, на дерново-подзолистой почве составляют 7 ГДж/га на 1 т гумуса; на других типах почв это требует специального определения.

Таким образом, с учетом коэффициентов закрепления удобрений и энергозатрат на удобрения рассчитывается содержание ВЭ в элементах плодородия почвы. Результаты заносятся в таблицу 7.

**6. Агрoхимическая характеристика почвы долголетнего сенокоса при разных системах ведения
(слой почвы 0-20 см)**

Технологическая система	В том числе, удобрение	Агрoхимические показатели					Содержание, кг/га			
		pH _{сол.}	подвижный фосфор, мг/кг	обменный калий, мг/кг	общий азот, %	гумус, %	подвижный фосфор	обменный калий	общий азот	гумус
Исходное состояние	—	4,3	60	70	0,12	2,03	150	175	3000	50800
Техногенная	—	4,5	46	66	0,20	3,28	105	148	4550	73850
Техногенно-минеральная	N ₁₂₀ P ₄₅ K ₉₀	4,4	92	51	0,16	3,20	207	115	3625	71950
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га 1 раз в 4 года	4,6	50	63	0,22	3,63	113	142	5025	81700

**7. Агроэнергетическая оценка плодородия почвы при разных системах ведения долголетнего сенокоса
(слой почвы 0-20 см)**

Технологическая система и удобрение	Содержание энергии									± энергии за счет $\Delta pH_{\text{сол.}}$, ГДж/га	Итого		
	ГДж/га					% от суммы					ГДж/га	% к исходному	% к контролю
	фосфор	калий	общий азот	гумус	сумма	фосфор	калий	общий азот	гумус				
Исходное состояние	0,70	2,62	325,5	355,6	684,4	0,10	0,38	47,6	52,0	—	684	100	—
Техногенная: без удобрений	0,49	2,21	493,7	517,0	1013,3	0,05	0,22	48,7	51,0	+ 8,6	1022	149	100
Техногенно-минеральная: $N_{120}P_{45}K_{90}$	0,96	1,72	393,3	503,7	899,6	0,11	0,19	43,7	56,0	+ 4,3	904	132	88
Техногенно-органическая: навоз, 20 т/га 1 раз в 4 года	0,52	2,12	545,2	1206,9	1754,8	0,03	0,12	31,1	68,8	+ 12,9	1768	258	173

Расчет валовой энергии проводится по следующей формуле:

$$ВЭ = P \times Kф \times Ээ,$$

где P — содержание питательного вещества в почве, кг/га; Kф — коэффициент, связанный с закреплением удобрений в почве в недоступной форме; Ээ — энергетический эквивалент применяемых удобрений, МДж/кг д. в.

Совокупный запас энергии в почве в основном определяется гумусом и общим азотом, тогда как на долю подвижных форм P_2O_5 и K_2O приходится менее 1 % от суммы ВЭ основных питательных веществ почвы. В связи с этим допустимо оценивать энергию плодородия почвы по двум показателям: содержанию общего азота и гумуса.

Для получения итогового показателя потенциала энергии плодородия почвы необходимо учесть изменение кислотности почвы и прибавить (в случае повышения $pH_{\text{сол.}}$) или вычесть (при уменьшении $pH_{\text{сол.}}$) из совокупной энергии затраты, которые соответствуют установленным изменениям, то есть 3,4 ГДж на каждые 0,1 $pH_{\text{сол.}}$ изменения кислотности почвы (или 4,3 ГДж для pH меньше 4,5).

Оценка изменения запасов энергии в результате динамики плодородия почвы проводится по сравнению с исходным содержанием (на начало проведения опыта) и (или) с контролем или иным, требующим сравнения вариантом, системой или технологией. Пример расчета валовой энергии (ВЭ) для техногенной системы представлен в таблице 7.

1. В слое почвы 0–20 см содержится 105 кг/га P_2O_5 . Коэффициент закрепления фосфорных удобрений составляет 65 %, а в подвижной форме в почве накапливается 35 % от внесенной дозы фосфорных удобрений, коэффициент для расчета расхода удобрений равен $1 : 0,35 = 2,9$. Энергетический эквивалент фосфоритной муки — 1,6 МДж на 1 кг д. в.

Содержание валовой энергии составит:

$$ВЭ = 105 \text{ кг/га} \times 2,9 \times 1,6 \text{ МДж/кг} = 487 \text{ МДж/га} = 0,49 \text{ ГДж/га.}$$

2. В почве содержится 148 кг/га K_2O . Коэффициент закрепления — 0,40, коэффициент для расчетов расхода удобрений равен $1 : 0,60 = 1,7$. Энергетический эквивалент хлористого калия — 8,8 МДж на 1 кг д. в.

$$ВЭ = 148 \text{ кг/га} \times 1,7 \times 8,8 \text{ МДж/га} = 2214 \text{ МДж/га} = 2,21 \text{ ГДж/га.}$$

3. В почве содержится 4550 кг/га общего азота. Коэффициент закрепления равен 0,20, коэффициент для расчетов расхода удобрений равен $1 : 0,80 = 1,25$. Энергетический эквивалент аммиачной селитры — 86,8 МДж на 1 кг д. в.

$$ВЭ = 4550 \text{ кг/га} \times 1,25 \times 86,8 \text{ МДж/кг} = 493675 \text{ МДж/га} = 493,7 \text{ ГДж/га.}$$

4. В почве содержится 73850 кг/га гумуса. Энергетический эквивалент 7 ГДж/т (установлен в долголетнем опыте).

$$ВЭ = 73,85 \text{ т/га} \times 7 \text{ ГДж/т} = 517,0 \text{ ГДж/га.}$$

5. $pH_{\text{сол.}}$ в почве за период 1946–1999 гг. увеличился с 4,3 до 4,5, то есть $\Delta pH = + 0,2$. Для сдвига $pH_{\text{сол.}}$ на $\Delta 0,1$, требуется энергозатрат 4,3 ГДж/га. Изменение энергии составит: $0,2 \times 4,3 \text{ ГДж/га} = 8,6 \text{ ГДж/га}$.

Как следует из результатов таблицы 7, энергоемкость почвенного плодородия за 53-летний период повысилась на 32–158 % по сравнению с исходным состоянием. Среднегодовые темпы прироста запаса валовой энергии составили 6,4 ГДж/га в техногенной, 4,2 ГДж/га в техногенно-минеральной и 20,5 ГДж/га в техногенно-органической системах. Следует отметить, что ежегодное применение удобрений в дозах $N_{120}P_{45}K_{90}$, которые по составу и продуктивности фитоценоза были наиболее эффективными в этих условиях суходольного луга, способствовали ускорению процесса минерализации органического вещества дернины и реутилизации элементов питания урожаем трав. Наиболее высокие темпы прироста энергетических показателей плодородия почвы, отмеченные при периодическом внесении органических удобрений, были обусловлены высокими темпами среднегодового прироста запасов гумуса (по 583,0 кг/га) и азота (по 38 кг/га) в почве благодаря формированию бобово-разнотравно-злакового фитоценоза.

Примеры изменения запасов энергии в почве краткосрочных пастбищ (за 6 лет жизни фитоценоза и применения изучаемых систем) приведены в таблице 8. Повышение энергоемкости почвенного плодородия в зависимости от типа фитоценозов составило 2–14 % на злаковом и 11–18 % на бобово-злаковом пастбищах к исходному уровню.

На злаковом пастбище получены следующие среднегодовые приросты валовой энергии за счет изменения плодородия почвы: 2,4 ГДж/га в техногенной, 6,9 ГДж/га в техногенно-органической и 18,6 ГДж/га в техногенно-минеральной системах. Более низкие темпы накопления энергии при применении техногенной системы на злаковом пастбище, по сравнению с долголетним сенокосом, обусловлены активным разложением органического вещества запаханной дернины и, напротив, более высокие темпы пополнения запасов энергии в почве при применении техногенно-минеральной и техногенно-органической системы на пастбище связаны с первым этапом прогрессирующего накопления органического вещества дернины (табл. 5), когда фаза равновесного этапа процесса накопления и разложения отмершей дернины еще не наступила.

**8. Агроэнергетическая оценка плодородия почвы при разных системах ведения пастбищ
(слой почвы 0–20 см)**

Технологическая система	В том числе удобрения	Содержание энергии, ГДж/га					Изменение энергии в связи с $\Delta pH_{\text{сол.}}$, ГДж/га	Итого	
		фосфор	калий	азот	гумус	сумма		ГДж/га	% к исходному
Исходный уровень	—	1,2	3,5	433,5	378,4	816,6	—	816,6	100
Злаковые пастбища									
Техногенная	Без удобрений	1,1	2,1	433,5	401,4	838,1	– 6,8	831,3	102
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га ежегодно	1,3	3,5	433,5	419,5	857,8	0	857,8	105
Техногенно-минеральная	$N_{90}P_{45}K_{90}$	1,2	2,9	510,0	431,0	945,1	– 17,0	928,1	114
Бобово-злаковые пастбища									
Техногенная	Без удобрений	1,0	2,1	535,4	429,8	967,8	– 6,8	961,0	118
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га ежегодно	1,4	4,2	510,0	414,5	930,1	0	930,1	114
Техногенно-минеральная	$P_{40}K_{100}$	1,1	3,9	535,4	412,9	953,3	– 13,6	939,7	115

На бобово-злаковом пастбище темпы накопления валовой энергии в техногенной (24,1 ГДж/га) и в техногенно-органической (18,9 ГДж/га в год) системах были заметно выше, чем на злаковом пастбище, что связано с дополнительным влиянием биологического фактора. В техногенно-минеральной системе роль биологического фактора по темпам накопления валовой энергии за счет прироста показателей плодородия почвы на бобово-злаковом пастбище в условиях центрального района лесной зоны оказалась близкой к влиянию минеральных азотных удобрений в дозе N_{100} ежегодно. Можно отметить, что внесение органических и фосфорно-калийных удобрений в связи с увеличением содержания бобовых в травостое способствовало ускорению процессов минерализации их отмерших корней, поэтому отмечена тенденция снижения темпов прироста валовой энергии по сравнению с неудобренными травостоями в техногенной системе.

5. ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СУММАРНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ВАЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЛУГОВЫХ АГРОЭКОСИСТЕМАХ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ ПО СОСТАВЛЯЮЩИМ ЭЛЕМЕНТАМ

Размеры накопления валовой энергии в целом луговыми агроэкосистемами определяют как сумму содержания валовой энергии в надземной и подземной массе ее фитоценозов и изменение энергоемкости плодородия почв по сравнению с исходным состоянием. По этому показателю можно проводить сравнение различных луговых агроэкосистем, а также оценить влияние различных антропогенных факторов на накопление валовой энергии в агроэкосистеме.

Отношение суммарного показателя накопления валовой энергии к антропогенным совокупным затратам характеризует эффективность технологий по влиянию на общий энергетический процесс луговых агроэкосистем.

Для наглядности оценки полученных результатов в таблице 9 приведены примеры, полученные на сеяных пастбищах центрального района лесной зоны. Накопление валовой энергии в техногенной системе злакового неудобряемого пастбища в среднем за 5 лет составило

9. Распределение валовой энергии по элементам агроэкосистем на пастбищах за 5 лет пользования

Технологическая система	В том числе, удобрение	Затраты антропогенной энергии, ГДж/га	Накопление валовой энергии в агроэкосистеме, ГДж/га					Распределение валовой энергии, % от суммы			Окупаемость антропогенных затрат накоплением ВЭ, раз
			надземная масса	подземная масса	изменение плодородия почвы	всего	% к техногенной системе	надземная масса	подземная масса	изменение плодородия почвы	
Злаковые пастбища											
Техногенная	Без удобрений	8,0	47,9	42,6	2,9	93,4	100	51,3	45,6	3,1	11,7
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га ежегодно	30,3	74,5	44,0	8,2	126,7	136	58,8	34,7	6,5	4,2
Техногенно-минеральная	N ₁₀₀ P ₄₀ K ₁₀₀	17,8	94,5	49,9	22,3	166,7	178	56,7	29,9	13,4	9,4
Бобово-злаковые пастбища											
Техногенная	Без удобрений	8,4	63,7	44,4	28,9	137,0	100	46,5	32,4	21,1	16,3
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га ежегодно	32,6	89,5	46,4	22,7	158,6	116	56,4	29,3	14,3	5,2
Техногенно-минеральная	P ₄₀ K ₁₀₀	10,7	83,5	48,9	20,5	152,9	112	54,6	32,0	13,4	14,3

93,4 ГДж/га, в техногенно-органической системе этот показатель повысился на 36 %, в техногенно-минеральной системе — на 78 % (по сравнению с техногенной).

Основная доля накопленной энергии распределялась на надземную (51–59 %) и подземную массу фитоценозов (30–46 %), изменение энергоемкости плодородия почв за этот период составило 3–13 % в зависимости от применяемых технологий. Окупаемость антропогенных затрат накопленной валовой энергией в указанных агроэкосистемах достигала 4–12 раз. При этом наиболее высокий коэффициент окупаемости установлен в техногенной системе, где затраты антропогенной энергии были минимальными, в техногенно-минеральной системе этот показатель составил 9,4 раза, а в техногенно-органической снизился до 4,2 раза. Это в целом отражает общеизвестный экспоненциальный характер окупаемости антропогенных затрат: по мере интенсификации технопроцесса отдача на единицу затраченных ресурсов снижается.

На бобово-злаковом пастбище, применяя этот метод, можно оценить в количественных показателях дополнительный фактор — биологизацию продукционных процессов за счет включения симбиотической азотфиксации в агроэкосистему. Так, в техногенной системе, благодаря используемому биологическому фактору, накопление валовой энергии увеличилось на 52 % (с 93,4 до 137,0 ГДж/га), в техногенно-органической системе — на 25 % (с 126,7 до 158,6 ГДж/га), в техногенно-минеральной системе на фоне РК эффект по накоплению валовой энергии соответствовал 92 % от произведенной валовой энергии злаковым фитоценозом при ежегодном применении азотных удобрений в дозе N_{100} . За пять лет пользования прямая экономия азотных удобрений на бобово-злаковом травостое достигала 38,9 ГДж/га; расчет:

$$86,5 \text{ МДж/кг N} \times 500 \text{ кг/га} \times 0,92.$$

Оценка распределения потоков валовой энергии по составляющим элементам агроэкосистемы указывает на положительное влияние бобово-злаковых фитоценозов на повышение показателей плодородия почвы, что было обусловлено не только увеличением накопления гумуса, но и запасом общего азота (см. табл. 8). Это имеет большое значение с учетом того, что плодородие почв сенокосов и пастбищ во всех регионах страны, как правило, значительно уступает пашне.

Аналогичные закономерности получены при сравнении технологий и состава травостоев на сенокосах (табл. 10).

10. Накопление и распределение валовой энергии по элементам агроэкосистем на сенокосах в среднем за 1 год

Технологическая система	В том числе удобрение, травостой	Затраты энергии, ГДж/га	Накопление валовой энергии в агроэкосистеме, ГДж/га				Распределение валовой энергии, % от суммы			Окупаемость затрат накоплением ВЭ, раз
			надземная масса	подземная масса	изменение плодородия почвы	всего	надземная масса	подземная масса	изменение плодородия почвы	
Злаковый сенокос (после 60 лет жизни трав)										
Техногенная	Без удобрений	2,8	35,8	5,8	6,4	48,0	75	12	13	17,1
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га 1 раз в 4 года	10,0	61,1	5,8	20,5	87,4	70	7	23	8,7
Техногенно-минеральная	N ₁₂₀ P ₄₅ K ₉₀	16,9	96,1	6,4	4,2	106,7	90	6	4	6,3
Бобово-злаковый сенокос (после 5 лет жизни трав)										
Техногенно-минеральная, P ₆₀ K ₁₀₀	С клевером луговым Тетраплоидный ВИК	10,7	91,7	44,2	17,9	153,8	59,7	28,7	11,6	16,8
	С клевером гибридным Первенец	10,6	85,7	37,9	31,8	155,4	55,1	24,4	20,5	14,7
	С люцерной изменчивой Лада	11,0	121,0	49,2	44,5	214,7	56,4	22,9	20,7	19,5
	С лядвенцем рогатым Луч	10,6	65,8	45,8	38,5	150,1	43,8	30,5	25,6	14,2

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ, БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ В УПРАВЛЯЕМЫХ АНТРОПОГЕННЫХ АГРОЭКОСИСТЕМАХ

Производство валовой энергии в луговых агроэкосистемах раскрывает их роль в современных биосферных процессах. Накопление валовой энергии агросистемами в целом за счет надземной и подземной массы фитоценозов в сумме с изменением энергоемкости плодородия почвы в техногенно-органической системе повысилось на 82 % и в техногенно-минеральной системе — на 48–122 % по сравнению с техногенной системой (табл. 11). Это обусловлено не только увеличением антропогенных затрат энергии, но и мобилизацией в продукционный процесс природных факторов. Поступление энергии природных факторов в техногенно-органической системе увеличилось на 71 % по сравнению с техногенной системой и в техногенно-минеральной системе — на 44–99 %. Доля природных факторов в производстве валовой энергии составила 84–92 %, то есть в 8–9 раз превосходила затраты антропогенных источников энергии.

11. Поступление энергии в луговые агроэкосистемы долголетних сенокосов за счет антропогенных и природных факторов (в среднем за 1993–2005 гг.)

Технологическая система	В том числе, удобрение	Производство ВЭ, ГДж/га	Совокупные антропогенные затраты, ГДж/га	Поступление энергии за счет природных факторов		
				ГДж/га	%	% от производства
Техногенная	Без удобрений	48,0	2,8	45,2	100	94
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га 1 раз в 4 года	87,4	10,0	77,4	171	89
Техногенно-минеральная	P ₄₅ K ₉₀	70,9	6,0	64,9	144	92
	N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀	84,7	11,5	73,2	162	86
	N ₁₂₀ P ₄₅ K ₉₀	106,7	16,9	89,8	199	84

Использование природных факторов на бобово-злаковых травостоях (табл. 12) было существенно выше по сравнению со злаковыми фитоценозами: на 50 % в техногенной и на 24 % в техногенно-органической системах, в техногенно-минеральной системе только на 4 % уступало злаковому пастбищу.

12. Поступление энергии в луговые агроэнергосистемы краткосрочных пастбищ за счет антропогенных и природных факторов (в среднем за 5 лет)

Технологическая система	В том числе, удобрение	Производство ВЭ, ГДж/га	Совокупные антропогенные затраты, ГДж/га	Поступление энергии за счет природных факторов		
				ГДж/га	%	% от производства
Злаковое пастбище						
Техногенная	Без удобрений	93,4	8,0	85,4	100	0,91
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га ежегодно	126,7	30,3	96,4	113	0,75
Техногенно-минеральная	N ₁₀₀ P ₄₀ K ₁₀₀	166,7	17,8	148,9	174	0,89
Бобово-злаковое пастбище						
Техногенная	Без удобрений	137,0	8,4	128,3	100	0,94
Техногенно-органическая	Навоз, 20 т/га ежегодно	158,6	32,6	120,0	94	0,76
Техногенно-минеральная	P ₄₀ K ₁₀₀	152,9	10,7	142,2	119	0,94

Следовательно, луговые агроэкосистемы способны за счет использования солнечной энергии, биологической особенности фитоценозов и их средообразующей роли поддерживать положительный баланс энергии в современных биосферных процессах на Земле. Полученные экспериментальные результаты подтверждают научную гипотезу Ю. Одума (1975), согласно которой луговые биоэкосистемы по производству валовой энергии занимают третье место после мировых океанических систем и тропических лесов. Применение разработанной методики в других почвенно-климатических условиях позволит раскрыть роль зональных и региональных почвенно-климатических особенно-

стей, биологических факторов (видовой и сортовой состав фитоценозов целевого назначения) и фотосинтетически активной радиации с целью управления агроэкосистемами.

Таким образом, «Методика оценки потоков энергии в луговых агроэкосистемах», наряду с ранее принятыми методами определения продуктивности по сбору обменной энергии на сенокосах и пастбищах, позволяет всесторонне оценить их роль в системе земледелия, с учетом современных экологических задач оценки потоков валовой энергии по элементам агроэкосистемы. С учетом первоочередной задачи оценки потенциала продуктивности надземной массы фитоценозов, предлагаемый метод способствует более полной оценке их роли в изменении плодородия почвы, развивая идеи академика В. Р. Вильямса, профессора А. М. Дмитриева, Л. Г. Раменского и других основоположников отечественного луговодства о средообразующей роли многолетних трав. В связи с тем, что органические удобрения, получаемые за счет корма с пастбищ и сенокосов, в основном направляются в растениеводство и земледелие, можно не только прогнозировать этот поток, но и более целесообразно управлять им с целью самовозобновления и саморегуляции луговых агроэкосистем. Кроме того, предлагаемый метод позволяет проводить оценку эффективности разнообразных антропогенных ресурсов и природных факторов на основе принятой международной системы показателей энергии. Это дает возможность целенаправленно решать задачи конструирования агроэкосистем в луговодстве с учетом распределения валовой энергии в надземной и подземной массе фитоценозов, производства обменной энергии для целей животноводства, а также последствия их на энергоемкость плодородия почвы и оценивать взаимосвязь с другими агроэкосистемами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев Н. Г., Гарист А. В., Соколов В. М., Волков Н. П. и др. Оценка качества основных видов кормов для жвачных животных (Рекомендации). – М. : ВО «Агропромиздат», 1990. – 46 с.
2. Гудков В. В. Повышение продуктивности долголетних сеяных сенокосов в Центральном районе Нечерноземной зоны : Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1984. – 16 с.
3. Жученко А. А. Экологическая генетика культурных растений. – Кишинев : Штиинца, 1980. – 588 с.
4. Жученко А. А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства. Пущино, 1994. – 148 с.
5. Конюшков Н. С., Минина И. П., Работнов Т. А. и др. Изучение корневых систем травянистых растений // Методика опытов на сенокосах и пастбищах. – М. : ВИК, 1971. – С. 142–153.
6. Кутузова А. А., Федорова Л. Д. Плодородие почв и интенсивные технологии // Кормопроизводство. 1987. № 3. С. 32–36.
7. Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства / Б. П. Михайличенко, А. А. Кутузова, Ю. К. Новоселов и др. – М. : РАСХН, 1995. – 173 с.
8. Методическое пособие по агроэнергетической оценке технологий и систем ведения кормопроизводства / Б. П. Михайличенко, А. С. Шпаков, А. А. Кутузова. – М. : РАСХН, 2000. – 52 с.
9. Одум Ю. Основы экологии. Пер. с 3-го англ. изд. – М. : Мир, 1975. – 742 с.
10. Станков Н. З. Методы взятия корней в поле // Доклады ВАСХНИЛ. 1951. № 11. С. 121–126.
11. Шип В. В. Повышение продуктивности бобово-злаковых пастбищ путем периодического известкования и фосфоритования дерново-подзолистых почв в Центральном районе Нечерноземной зоны : Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 1990. – 16 с.

Приход ФАР за вегетационный период ($c t > +5\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Пункт	Географическая широта (с. ш.)	Приход ФАР	
		млрд КДж/га	ГДж/га
Архангельск	65	10,3	10300
Москва	56	13,9	13900
Воронеж	52	15,9	15900
Краснодар	45	20,1	20100
Ашхабад	38	28,0	28000

Влияние восстановительных сукцессий старосеяных сенокосов (1946 г. посева) с участием лисохвоста лугового благодаря применению удобрений (в течение 2003–2005 гг.) на накопление валовой энергии в подземной массе (слой почвы 0–20 см), 2005 г.

Система ведения	В том числе, удобрение	Состав травостоя	Масса корней, ц/га СВ	Содержание ВЭ в 1 кг СВ, МДж		Соотношение $\frac{ВЭ_{пм}}{ВЭ_{нм}}$	Закрепление ВЭ в корнях, ГДж/га
				в подземной массе (пм)	в надземной массе (нм)		
Техногенная	Без удобрений	Разнотравно-бобово-злаковый	214,2	16,4	18,7	0,88	351,3
Техногенно-минеральная	N ₆₀	Бобово-разнотравно-злаковый	182,8	16,7	19,1	0,87	305,3
	N ₆₀ K ₄₅	Разнотравно-бобово-злаковый	211,0	16,6	18,9	0,88	350,3
	P ₃₀ K ₄₅		221,7	16,8	18,9	0,89	372,5
	P ₄₅ K ₉₀		221,0	16,4	18,6	0,88	362,4
	N ₆₀ P ₃₀ K ₄₅		186,2	16,6	18,9	0,88	309,1
	N ₆₀ P ₃₀ K ₄₅	Бобово-разнотравно-злаковый	202,5	16,7	19,0	0,88	338,2
	N ₆₀ P ₄₅ K ₉₀		211,0	16,6	18,7	0,89	350,3
		N ₁₂₀ P ₃₀ K ₄₅	Разнотравно-злаковый	210,8	16,6	19,2	0,86
N ₁₂₀ P ₄₅ K ₉₀		221,9		16,5	19,1	0,86	366,1
Техногенно-органическая	20 т/га навоза	Разнотравно-бобово-злаковый	212,1	16,4	18,7	0,88	347,8
Комбинированная	20 т/га навоза + N ₃₀	Бобово-разнотравно-злаковый	192,4	16,5	18,9	0,87	317,5
НСП ₀₅			42,2				

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Определение совокупных затрат антропогенной энергии в технологиях.....	6
2. Оценка потенциала продуктивности естественных и сеяных фитоценозов сенокосов и пастбищ по производству валовой и обменной энергии при применении различных систем, технологий и приемов.....	8
3. Определение содержания валовой энергии в подземной массе фитоценозов при применении различных систем, технологий и приемов.....	11
4. Влияние луговых агроэкосистем на изменение энергетической емкости плодородия почв.....	13
5. Влияние антропогенных факторов на суммарное накопление валовой энергии в луговых агроэкосистемах и распределение потоков по составляющим элементам.....	21
6. Определение использования природных, биологических факторов и фотосинтетически активной радиации в управляемых антропогенных агроэкосистемах.....	25
Список литературы.....	28
Приложение 1.....	29
Приложение 2.....	30

Научное издание

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ
В ЛУГОВЫХ АГРОЭКОСИСТЕМАХ**

Верстка, оригинал-макет Н. И. Георгиади

Подписано в печать 05.08.2015 г.
Бумага «Снегурочка». Формат 60×84¹/₁₆.
Гарнитура «Таймс». Печать ризографическая
Усл. печ. л. 1,78. Тираж 500. Заказ 201

ООО «Угрешская типография»
т. 700–12–29, 700–06–66
111621, Москва, ул. Оренбургская, 15